



научный рецензируемый журнал

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

“Vestnik SibADI”

Том 17, № 3. 2020
Сквозной номер выпуска – 73
Vol. 17, no. 3. 2020
Continuous issue – 73

наука
science

creation
творчество

образование
education

innovations
инновации

technology
технологии

tradition
традиции

ISSN 2071-7296 (Print)
ISSN 2658-5626 (Online)
DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-3

ВЕСТНИК СИБАДИ

THE RUSSIAN AUTOMOBILE AND HIGHWAY INDUSTRY JOURNAL

DOI 10.26518/2071-7296

**ТОМ 17, № 3. 2020. СКВОЗНОЙ НОМЕР ВЫПУСКА – 73
(VOL. 17, NO. 3. 2020. CONTINUOUS ISSUE – 73)**

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

ОАО Агентство «Роспечать» 66000

Founder and Publisher:

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

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

EDITORIAL POSTAL ADDRESS

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

Published since 2004
by 6 issues per year

Subscription index is 66000
in the Rospechat Agency's catalog

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

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

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

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

05.05.04 – Дорожные строительные и подъёмно-транспортные машины (технические науки),
05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте (технические науки),
05.22.08 – Управление процессами перевозки (технические науки),
05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки),
05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки),
05.23.05 – Строительные материалы и изделия (технические науки),
05.23.08 – Технология и организация строительства (технические науки),
05.23.11 – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки).

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

Журнал индексируется и архивируется:

в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ);
в международной базе Dimensions;
международной интерактивной справочно-библиографической системе EBSCO;
международной реферативной базе периодических печатных изданий
Ulrichsweb Global Serials Directory;
международной базе открытых публикаций Google Академия;
международной электронно-библиотечной системе The European Library;
научном информационном пространстве «Соционет»;
электронном каталоге научно-технической литературы ВИНИТИ 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 24.06.2020. Дата выхода в свет 30.06.2020. Формат 60×84 1/8 Гарнитура Arial. Печать оперативная.

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

Контент доступен под лицензией CC BY.

Поступившие в редакцию материалы не возвращаются.

Гонорары не выплачиваются.

Все статьи публикуются бесплатно.

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

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

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

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

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

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

05.22.10 – Operation of automobile transport (Technical Sciences),

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

05.23.05 – Building materials and products (Technical Sciences),

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

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

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

The journal is indexed and archived:

in Russian Index of Scientific Citations;

Dimensions;

EBSCO;

Ulrichsweb Global Serials Directory;

Google scholar

The European Library;

SOCIONET;

VINITI RAS;

Cyberlenika

The Journal is a member of

the Directory of Open Access Journals (DOAJ),

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

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



Signed in print on 24.06.2020. Publication date is 30.06.2020. Format is 60 × 84 1/4.

Headset is Arial, operational printing, offset paper, 27,25 conditionally printed sheets, 500 copies. Free of charge.

Printed at the Printing and Publishing Complex of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia

Content is available under license CC BY.

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

Транспортное, горное и строительное машиностроение

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

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

Транспорт

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

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

Строительство и архитектура

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

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

Боровик Виталий Сергеевич, д-р техн. наук, проф., Волгоградский научно-технический центр, г. Волгоград, Россия
Scopus Author ID 57192819653, **SPIN-код** 3552-6019,
ORCID ID 0000-0002-0292-4421

Винников Юрий Леонидович, д-р техн. наук, проф., Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина
Scopus Author ID 6603741286, **Researcher ID** 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 Author ID 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

Перебуд 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

Черкашина Валентина Сергеевна редактор-ответственный секретарь
e-mail: vestnik_sibadi@sibadi.org

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

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

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

EDITORIAL TEAM

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

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

Transport, mining and mechanical engineering

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

Scopus Author ID 6602305514, **Researcher ID** D-9948-2019,
ORCID ID 0000-0002-5104-7568

Mikhail S. Korytov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia
Scopus Author ID 57035238500, **Researcher ID** B-5667-2015,
ORCID ID 0000-0002-5104-7568

Transport

Nikolai G. Pevnev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia
Scopus Author ID 16526820600

Evgeniy E. Vitvitskiy, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia
Scopus Author ID 57193406974, **Researcher ID** N-9779-2017,
ORCID ID 0000-0002-0155-8941

Construction and architecture

Viktor V. 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

Valentina S. Cherkashina
Executive Journal Secretary
e-mail: vestnik_sibadi@sibadi.org

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

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

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

РАЗДЕЛ I.

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Т.Н. Охлопков

ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ГИДРОАГРЕГАТОВ АВТОГРЕЙДЕРА ДЗ-98.....	316
---	------------

О.Н. Мехонин, К.Г. Пугин

ОБОСНОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ГРУЗОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ И КРАНОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ	328
--	------------

В.А. Николаев

АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТИ КОНСОЛЬНОГО НОЖА С ГРУНТОМ	340
--	------------

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

О.Е. Янучкова, М.Р. Янучков, Н.В. Якунина

ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ РЕЖИМА ТРУДА И ОТДЫХА ВОДИТЕЛЯ ПРИ ОРГАНИЗОВАННОЙ ПЕРЕВОЗКЕ ГРУПП ДЕТЕЙ В МЕЖДУГОРОДНОМ СООБЩЕНИИ	352
--	------------

И.А. Шарифуллин, А.Л. Носко, Е.В. Сафронов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ПАЛЛЕТЫ ПО ТОРМОЗНОМУ РОЛИКУ МАГНИТНОГО ТИПА	364
---	------------

Н.О. Блудян

БЕЗОПАСНОСТЬ ТАКСОМОТОРНЫХ ПЕРЕВОЗОК ТРЕБУЕТ СИСТЕМНЫХ РЕШЕНИЙ	374
---	------------

Е.В. Фомин, В.А. Зеер, Е.С. Арефьева, Н.В. Голуб

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИОРИТЕТА ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА.....	390
--	------------

И.М. Рябов, В.В. Горина

РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ В КРУПНОТОННАЖНЫХ КОНТЕЙНЕРАХ С ГРУЗОПОДЪЕМНЫМИ СТОЙКАМИ В АВТОМОБИЛЬНО-ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ СООБЩЕНИИ.....	400
---	------------

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

В.А. Уткин, И.И. Готовцев

ПРИМЕНЕНИЕ ГРЕБЕНЧАТЫХ УПОРОВ ДЛЯ ОБЪЕДИНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ И ДОЩАТО-ГВОЗДЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ МОСТА.....	414
---	------------

PART I. TRANSPORT, MINING AND MECHANICAL ENGINEERING

T.N. Okhlopkov

LOW TEMPERATURES EFFECT ON THERMAL CONDITIONS OF DZ-98 AUTOGRADER HYDRAULIC UNITS	317
--	------------

O.N. Mekhonin, K.G. Pugin

CHANGES JUSTIFICATION IN A CALCULATING METHOD OF LOAD STABILITY OF AUTOMOTIVE HOISTING CRANES AND AUTOMOTIVE MANIPULATOR CRANES BASED ON THE NORMATIVE DOCUMENTS ANALYSIS.....	329
---	------------

V. A. Nikolaiev

INTERACTION ANALYSIS OF THE CONSOLE KNIFE SURFACE WITH THE SOIL.....	341
---	------------

PART II. TRANSPORT

O. E. Ianuchkova, M. R. Ianuchkov, N. V. Iakunina

PARTICULARITIES OF DRIVER'S WORK AND REST SCHEDULE CONDITIONS IN ORGANIZED CHILDREN CARRIAGE IN INTERCITY CONNECTION	353
---	------------

I. A. Sharifullin, A. L. Nosko, E. V. Safronov

MATHEMATICAL MODEL OF THE MOTION PALLET PROCESS ON BRAKE MAGNETIC TYPE ROLLER	365
--	------------

N.O. Bludian

TAXI TRANSPORT SAFETY REQUIRES SYSTEM SOLUTIONS	375
--	------------

E. V. Fomin, V. A. Zeer, E. S. Arefieva, N. V. Golub

ENSURING PRIORITY FOR PUBLIC URBAN PASSENGER TRANSPORT ON URBAN STREETS AND ROAD NETWORK	391
---	------------

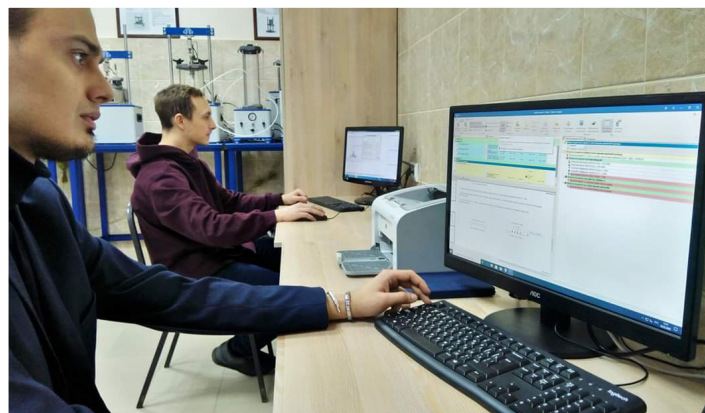
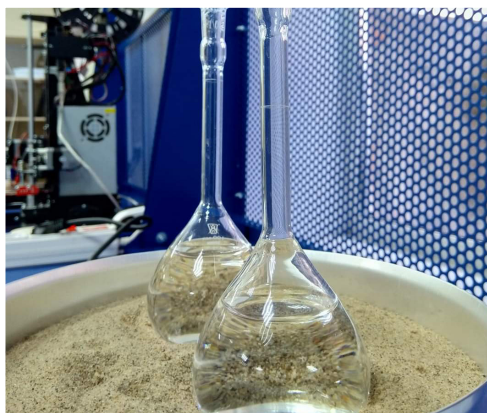
I.M. Riabov, V.V. Gorina

DEVELOPMENT AND EFFICIENCY EVALUATION OF CARGO TRANSPORTATION TECHNOLOGY IN HIGH-CAPACITY CONTAINERS WITH LOAD LIFTING VERTICAL STAYS IN ROAD-RAIL NETWORK	401
---	------------

PART III. CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

V.A. Utkin, I.I. Gotovtsev

CRESTED SHEAR CONNECTORS APPLICATION TO COMBINE REINFORCED CONCRETE SLAB AND PLANK-NAILED STRUCTURE OF BRIDGE SPAN	415
---	------------



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



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

УДК 625.7

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-316-327>

ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ГИДРОАГРЕГАТОВ АВТОГРЕЙДЕРА ДЗ-98

Т.Н. Охлопков

ФГАОУ ВО СВФУ имени М.К. Аммосова,

г. Якутск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье рассматриваются природно-климатические условия Якутии, а также процесс охлаждения гидравлической системы автогрейdera ДЗ-98 с целью предотвращения нарушения теплового режима гидроагрегатов под влиянием низких температур с учетом ветрового обдува и режима работы. Измерения температуры поверхности гидроагрегатов осуществлялись 16 января 2018 года в г. Якутске на базе акционерного общества «Якутдорстрой» при температуре окружающего воздуха -42°C . Причины климатического характера вызывают простои техники в периоды низких отрицательных температур, оговариваемых инструкциями заводов-изготовителей, разработанными применительно к конкретным условиям, актирующих вынужденные простои машин. Целью исследовательской работы является определение возможности регулирования температуры гидроагрегатов в режиме холостого хода для определения закономерностей изменения температур в зависимости от режима работы.

Материалы и методы. Для обеспечения надежной работы гидравлической системы в условиях низких температур гидроагрегаты должны обеспечить подачу рабочей жидкости под давлением независимо от изменения температуры окружающего воздуха. Тепловой режим гидроагрегатов характеризуется тремя основными параметрами: давлением, температурой и объемом. В условиях Севера, где в зимний период температура окружающего воздуха варьируется от -27°C до -49°C , определяющим параметром является абсолютная температура. При решении задачи использовались теории теплопроводности и теплопередачи в твердых телах, гидродинамики и дифференциальных уравнений.

Результаты. Природно-климатические данные, а также зарегистрированная температура поверхности гидроагрегатов позволяют определить количество дней с критически отрицательной температурой, теплоотдачу гидроагрегатов и закономерность его изменения в зависимости от режима работы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автогрейдер, эксплуатация, гидроагрегат, низкие температуры, тепловой режим, рабочая жидкость, теплоотдача, процесс охлаждения.

БЛАГОДАРНОСТИ. Автор выражает благодарность Воскресенскому Геннадию Гавриловичу, д-ру техн. наук, исполняющему обязанности заведующего кафедрой «Транспортно-технологические системы в строительстве и горном деле» ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет» г. Хабаровска, Юрченко Сергею Анатольевичу, главному инженеру акционерного общества «Якутдорстрой».

Поступила 26.03.2020, принята к публикации 30.06.2020.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Охлопков Т.Н. Влияние низких температур на тепловой режим гидроагрегатов автогрейdera ДЗ-98. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-316-327>

© Охлопков Т.Н.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-316-327>

LOW TEMPERATURES EFFECT ON THERMAL CONDITIONS OF DZ-98 AUTOGRADER HYDRAULIC UNITS

T.N. Okhlopkov

*Federal State Autonomous Educational Institution
of Higher Education M.K. Ammosov Northeastern Federal University,
Yakutsk, Russia*

ABSTRACT

Introduction. The article discusses the climatic conditions of Yakutia, as well as the cooling process of the hydraulic system of DZ-98 motor grader in order to prevent violation of the thermal regime of hydraulic units under the influence of low temperatures, taking into account the wind blowing and operating conditions. The surface temperature of the hydraulic units was measured on January 16, 2018 in the city of Yakutsk on the basis of Yakutdorstroi joint-stock company at an ambient temperature of -42°C .

Materials and methods. To ensure a reliable operation of the hydraulic system at low temperatures, hydraulic units must provide a supply of working fluid under pressure, regardless of changes in ambient temperature. The thermal regime of hydraulic units is characterized by three main parameters: pressure, temperature and volume. In the North, where the ambient winter temperature varies from -27°C to -49°C , the absolute temperature is the determining parameter. Studying the problem, theories of heat conduction and heat transfer in solids, hydrodynamics, and differential equations were used.

Results. Natural and climatic data, as well as the recorded surface temperature of hydraulic units, allow to determine the number of days with a critically negative temperature, the heat transfer of hydraulic units and the regularity of its change depending on the operating mode.

KEY WORDS: grader, operation, hydraulic unit, low temperatures, thermal conditions, working fluid, heat transfer, cooling process.

GRATITUDE: The author expresses the gratitude to Gennadii G. Voskresenskii, Dr. of Sci., the Acting Head of the Transport and Technological Systems in Construction and Mining Department in Khabarovsk Pacific State University, to Sergey A. Iurchenko, the Chief Engineer of Yakutdorstroi Joint Stock Company.

Submitted 26.03.2020, revised 30.06.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

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

For citation: Okhlopkov T.N. Low temperatures effect on thermal conditions of autograder hydraulic units DZ-98. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-316-327>

© Okhlopkov T.N.



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

Общая цель исследования заключается в повышении эффективности строительных, дорожных машин в условиях Российского Севера посредством улучшения приспособленности гидравлических систем к низким температурам, приспособления конструкции гидроагрегатов дорожных машин к зимним условиям эксплуатации¹.

Задачи исследования:

- определить количество дней с критически отрицательной температурой;
- измерить температуру поверхности гидроагрегатов;
- рассчитать теплоотдачу гидроагрегатов;
- сделать выводы.

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение объемов работ, производительности труда в горнодобывающих и дорожно-строительных предприятиях Республики Саха (Якутия) предполагает привлечение большого числа строительных, дорожных машин. Условия эксплуатации строительной, дорожной техники в предприятиях г. Якутска, насчитывающей около 30 тыс. ед., весьма специфичны. Природно-климатические, грунтовые и технологические условия Крайнего Севера характеризуются низкими температурами воздуха и грунта, заснеженностью территорий и отсутствием дорог, сильными ветрами, большими перепадами температур, высокой прочностью и абразивностью вечномерзлых и мерзлых грунтов, удаленностью мест работы машин от баз эксплуатации [1, 2]. Эти условия существенно отличаются от расчетных для строительных, дорожных машин общего назначения. Однако только 5% парка строительных, дорожных машин являются специальными. Более того, строительная, дорожная техника, эксплуатируемая в регионе, только на 50% обеспечена специальными зимними сортами топлива, на 35–40% – трансмиссионным маслом, на 20–25% рабочей жидкостью гидросистем. Из-за этого производительность строительных, дорожных машин снижается по сравнению с расчетной не менее чем 1,5 раза, в 2–3 раза уменьшается наработка на отказ, в 2–5 раз по сравнению с нормативами сокращается срок службы. Процесс подготовки машин к пуску превращается в изнурительную процедуру, продолжающуюся 1...3 часа и бо-

лее, при ощутимых дополнительных затратах топлива для подогревателя.

Машина является частью сложной системы, в которой на нее действуют природно-климатические, технологические, экономические, управляющие факторы. Машина в свою очередь адекватно реагирует на них посредством энергетического воздействия.

Обобщая накапливаемый десятилетиями опыт адаптации, подчеркивая многогранность понятия, его можно классифицировать и с некоторой условностью представить в виде трех групп.

Первая из этих групп объединяет разнообразные способы и средства, совершенствующие собственно машину вне зависимости от того, где это делается – на заводе-изготовителе или в эксплуатирующей организации. Примером подобного совершенствования может служить оснащение машин подогревателями, обеспечивающими их предпусковую тепловую подготовку, применение специальных материалов, топлив и масел.

Ко второй группе относятся способы и средства, обеспечивающие смягчение суровости условий эксплуатации (технологических, природно-климатических), например, на отдельных участках грунт предохраняют от замораживания или предварительно оттаивают. Поэтому дорожными и землеройными машинами разрабатывается разупрочнённый грунт, или когда снег и низкие температуры используют для строительства снеголедовых дорог.

Третья группа объединяет способы и средства, когда наблюдаются одновременно признаки первой и второй групп, то есть тогда, когда вносят изменения в конструкцию машины и в нужном направлении корректируют воздействие среды. В качестве решений, относящихся к этой группе, можно отнести реализацию комбинированных способов разрушения мерзлых грунтов (гидромеханические, термомеханические и др.) и решения по созданию машин и механизмов для строительства снеголедовых дорог [3].

Анализируя методы, применяемые на предприятиях для совершенствования конструкции машин, очевидно, что в большинстве случаев модернизация носит субъективный характер и направлена непосредственно на обеспечение машин подогревателями и использование специальных горюче-смазочных материалов

¹ Ишков А.М., Викулов М.А. Эксплуатация горнотранспортных машин на карьерах Севера: учебное пособие. 2015. С.3–7. 144 С.

для решения узкопроизводственных задач в рамках предприятия, выполнения плановых заданий. Практика показывает, что только 50% машин обеспечены специальными зимними сортами топлива, 35–40% трансмиссионными маслами, 20–25% рабочими жидкостями гидросистем. Таким образом, проблема эксплуатации машин в условиях низких температур в настоящее время не решается в полном объеме и требует проведения дополнительных исследований теплового режима гидроагрегатов [4, 5].

Тепловой режим гидроагрегатов характеризуется тремя основными параметрами: давление, температура и объем. Низкие температуры, ветровой обдув, режим работы существенно влияют на температурный режим гидроагрегатов. В результате нарушения теплового режима снижается производительность и эксплуатационная надежность гидравлической системы, имеющей значительную протяженность гидравлических линий, в отдельных агрегатах наблюдается рост потерь давления, повышение вязкости рабочей жидкости, снижение упругих свойств уплотнителей. В зимний период возникают отказы гидросистемы [6].

Энергетические системы преобразуют и хранят энергию из различных физических областей, таких как механическая (например маховик); электрическая (ультраконденсатор); гидравлическая (аккумулятор); химическая (бензин); тепловая (хранение льда); ядерная (энергия, связывающая ядро урана); экономическая (банковский счет) и др. Инженеры и ученые требуют общей структуры описания и анализа энергетических систем. Это общая структура – математика, и мы относимся к нашему описанию динамических энергетических систем как к математической модели [7]. Методы математического моделирования гидродинамических систем, какими в основном и являются гидравлические системы и оборудование строительных, дорожных машин, создают возможность для глубокого анализа процессов, происходящих при выполнении технологических операций. Сочетание различных гидроагрегатов гидравлической системы, соединённых разными устройствами, с нестационарными параметрами обеспечивает возможность на современном этапе развития науки создать математические модели как отдель-

ных агрегатов, так и системы в целом с учетом управляющего воздействия гидросистемы. Решение математических моделей создает предпосылки рационального выбора способов и средств совершенствования гидроагрегатов, установления реальных значений параметров в гидравлической системе, дает возможность определить точность выполняемых функций и устойчивость системы управления [8]. Математическая модель ограничена по различным параметрам. Входные параметры модели могут быть представлены структурными параметрами, электрохимическими кинетическими параметрами, физическими и тепловыми параметрами, а также рабочими параметрами [9].

Для обеспечения оптимального теплового режима применяют разнообразные способы и средства, совершенствующие машину вне зависимости от того, где это делается – на заводе-изготовителе или в эксплуатирующей организации [10]. Примером подобного совершенствования может служить обмотка рукава высокого давления (РВД) термоизоляционным материалом, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Обмотанный рукав высокого давления

Figure 1 – Wrapped high pressure sleeve

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Температура окружающего воздуха регистрировалась ежедневно с 1 декабря 2017 года по 28 февраля 2018 года, из официального сайта ФГБУ «Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» с помощью мобильного телефона с выходом в сеть Интернет² [11].

² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» URL: <http://ykuthydromet.ru/>. (дата обращения: 18.02.2020).

Измерения температур поверхности гидроагрегатов автогрейдера ДЗ-98 проводились 16 января 2018 года (температура окружающего воздуха по данным ФГБУ «Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды ОГМС «Якутск» (р-н Гимин) составляло -42°C) на базе акционерного общества «Якутдорстрой» г. Якутска, предприятие занимается благоустройством улиц, строительством и ремонтом дорог, грузоперевозками.

Каждые 15 мин в течение 135 мин фиксировалась температура поверхности гидравлического бака, цилиндра (рисунок 2) и рукава высокого давления с помощью инфракрасного термометра 400-EN-01 (таблица 1), рабочая жидкость в гидравлической системе, всесезонное масло гидравлическое загущенное (ВМГЗ) (таблица 2,3,4).



Рисунок 2 – Измерение температуры цилиндра

Figure 2 – Measuring cylinder temperature

Таблица 1
Характеристика инфракрасного термометра 400-EN-01

Table 1
400-EN-01 infrared thermometer characteristics

Диапазон измерения	$-50^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ ($-58^{\circ}\text{F} \sim 1112^{\circ}\text{F}$)
Точность	$0^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ ($32^{\circ}\text{F} \sim 752^{\circ}\text{F}$); $0^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ ($32^{\circ}\text{F} \sim 1112^{\circ}\text{F}$) $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 2.7^{\circ}\text{F}$) или $\pm 1.5\%$ $-50^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ ($-58^{\circ}\text{F} \sim 32^{\circ}\text{F}$) $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ($\pm 5^{\circ}\text{F}$) В зависимости от того, что больше
Разрешение	0.1°C или 0.1°F
Повторяемость	1% от чтения или 1°C
Время отклика	500 мс, 95% ответ
Спектральный ответ	8-14 мкм
Коэффициент излучения	0.95 предустановки
Расстояние до размера пятна	12:1
Рабочая температура	$0 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ($32 \sim 104^{\circ}\text{F}$)
Рабочая влажность	10-90% RH без конденсации вплоть до 30°C (86°F)
Температура хранения	$20 \sim 60^{\circ}\text{C}$ ($-4 \sim 140^{\circ}\text{F}$)
Питание	1.5V AAA*2 аккумулятор

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таблица 2
Температура окружающего воздуха

Table 2
Ambient temperature

Число	Температура, ° С		
	Декабрь	Январь	Февраль
1.	-40	-34	-39
2.	-40	-29	-42
3.	-42	-29	-42
4.	-41	-27	-40
5.	-40	-33	-43
6.	-39	-39	-43
7.	-36	-38	-46
8.	-35	-40	-44
9.	-38	-40	-33
10.	-35	-43	-34
11.	-37	-38	-36
12.	-41	-41	-28
13.	-43	-49	-33
14.	-37	-41	-36
15.	-34	-43	-27
16.	-37	-42	-29
17.	-38	-37	-30
18.	-41	-42	-34
19.	-41	-44	-35
20.	-43	-40	-41
21.	-44	-45	-40
22.	-44	-36	-43
23.	-43	-41	-40
24.	-43	-41	-31
25.	-44	-42	-33
26.	-47	-39	-35
27.	-46	-34	-36
28.	-43	-44	-34
29.	-37	-43	
30.	-33	-39	
31.	-32	-43	
Среднее	-39,8	-39,2	-36,7
Минимум	-47	-49	-46
Максимум	-32	-27	-27

Таблица 3
Температура поверхности гидроагрегатов автогрейдера ДЗ-98

Table 3
The surface temperature of the hydraulic units of DZ-98 grader

Время, в часах	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25
Гидравлический бак, ° С	-3,8	-8,3	-2,8	1,6	-3	-8,1	-7,1	0,4	-8,3
Гидроцилиндр, ° С	-14	-21	-22,3	-22	-29,2	-33,8	-31,3	-30	-40
РВД, ° С	-27,4	-25,8	-23	-19,7	-25,3	-31,6	-28,7	-27,9	-41,2

Расчет температуры гидроагрегатов в режиме холостого хода.
Для расчетов гидроагрегатов использованы данные таблицы 4.

Таблица 4
Исходные данные

Table 4
The source data

Гидроагрегат	Гидравлический бак	Гидравлический цилиндр	РВД
Площадь	1,53	0,47	0,11
Объем рабочей жидкости	0,089	0,0135	0,000396

Гидроагрегат обладает первоначальной теплотой, которая на выводе техники из теплового помещения наружу отдается окружающему воздуху. Согласно закону Ньютона (1643–1717) и Рихмана (1711– 1753) тепловой поток в процессе теплоотдачи пропорционален площади поверхности теплообмена F и разности температур поверхности t_c и жидкости $t_{ж}$.

Уравнение теплоотдачи имеет вид

$$Q_1 dT = Q_F dt, \quad (1)$$

где Q_1 – начальная теплота гидроагрегата; Q_F – теплота, отдаваемая через наружную поверхность; dT , dt – приращение температуры K и времени t .

Согласно закону охлаждения Ньютона, текущую температуру гидроагрегатов рассчитываем по формуле

$$T = \frac{T_0}{e^{\beta t}} + T_B \left(1 - \frac{1}{e^{\beta t}}\right) - 273, \quad (2)$$

где T_0 – начальная температура 278 K; T_B – температура окружающего воздуха K; t – время, ч; β – коэффициент теплопроводности, равный

$$\beta = \frac{kF_r}{c_m m_m + c_r m_r}, \quad (3)$$

где k – коэффициент теплоотдачи $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}}$; F_r – площадь гидроагрегата, м^2 ; c_m – теплоемкость рабочей жидкости, $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$; m_m – масса рабочей жидкости, кг; c_r – теплоемкость материала гидроагрегата, $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$; m_r – масса гидроагрегата, кг [12]. Результаты измерений и расчетов температуры гидроагрегатов сведены в таблицу 5. На основе расчетов построены графики сравнения экспериментальных и расчетных данных для гидравлического бака (рисунок 3), для гидравлического цилиндра (рисунок 4) и РВД (рисунок 5).

³ Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.М. Теплотехника: учебник для вузов. 2005. 671 с.

Таблица 5
Результаты измерений и расчетов температуры гидроагрегатов

Table 5
Measurements results and temperature calculations of the hydraulic units

Время, ч	0,25 ч		0,5 ч	
	Измеренная	Расчетная	Измеренная	Расчетная
Температура гидравлического бака, ° C	-3,8	-3,9	-8,3	-8,4
Температура гидроцилиндра, ° C	-14	-14,1	-21	-21,1
Температура РВД, ° C	-27,4	-27,6	-25,8	-26,3

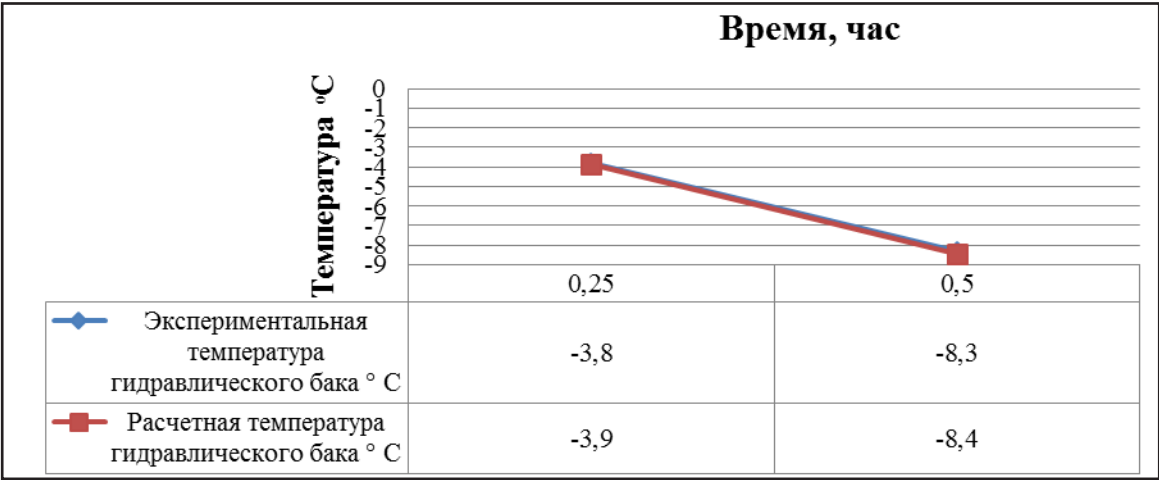


Рисунок 3 – Сравнение экспериментальных и расчетных данных гидравлического бака

Figure 3 – Comparison of experimental and calculated data of a hydraulic tank

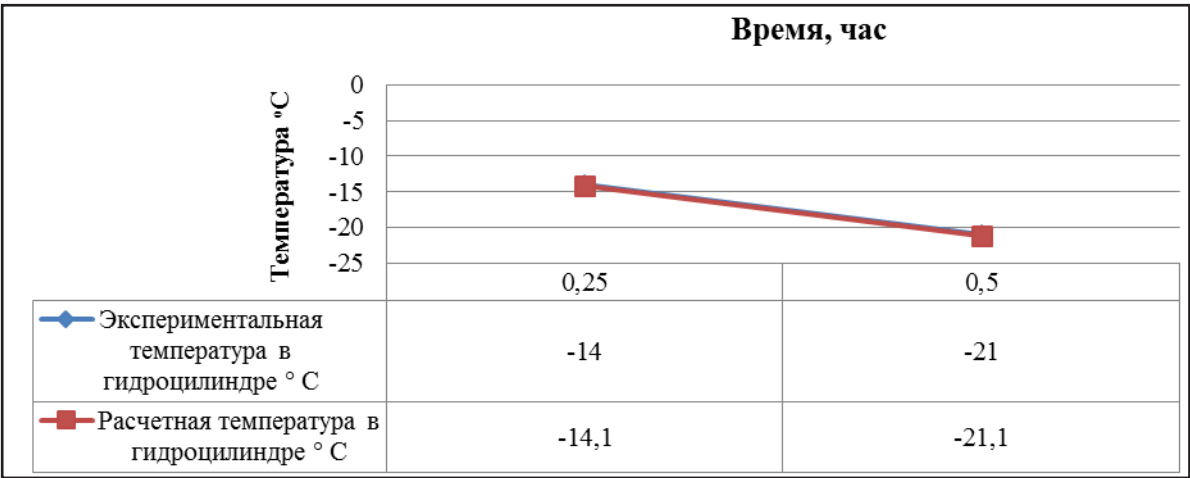


Рисунок 4 – Сравнение экспериментальных и расчетных данных гидравлического цилиндра

Figure 4 – Comparison of experimental and calculated data of a hydraulic cylinder

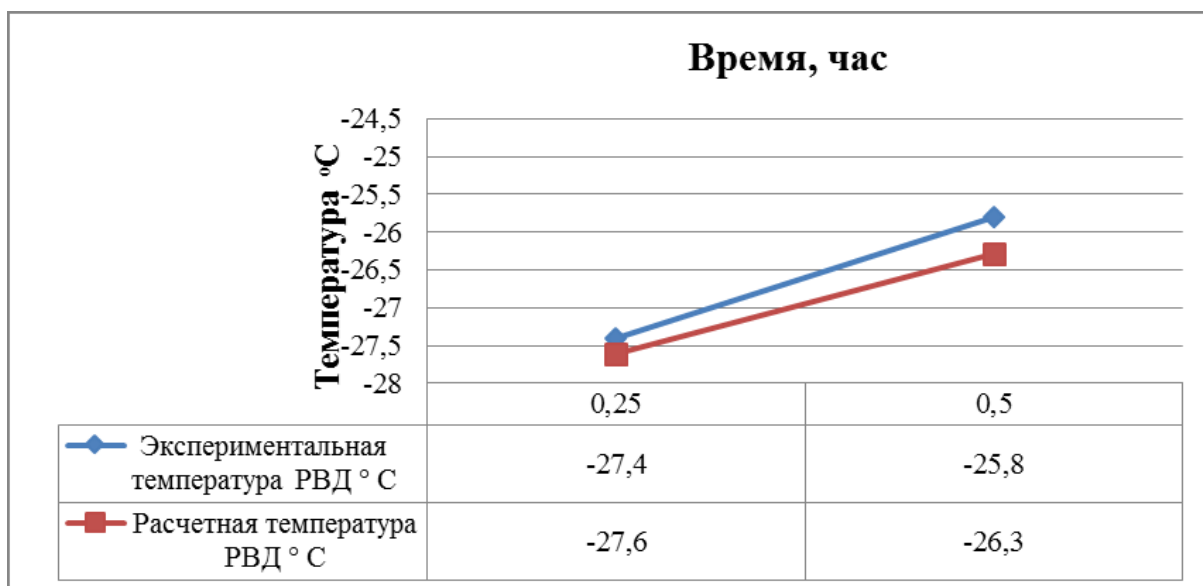


Рисунок 5 – Сравнение экспериментальных и расчетных данных РВД

Figure 5 – Comparison of RVD experimental and calculated data

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из таблицы 2 видно, что температура окружающего воздуха составляла -40°C и ниже в 18 случаях за декабрь 2017 года, 17 за январь и 11 за февраль 2018 года. Это составляет 51,1% от общего количества дней и равен 46, то есть данные дни можно считать активированными.

Все причины снижения эффективности использования строительных, дорожных машин на предприятиях Якутии по климатическим условиям можно разделить на три группы:

1. Климатического характера, вызывающие непосредственные простои – активированные остановки машин в период воздействия критических отрицательных температур.

2. Технического характера, связанные с простоем в аварийных ремонтах, вызванных отказами в гидравлической системе, недостаточным уровнем хладостойкости стале, а также повышенными нагрузками в узлах в результате смерзаемости грунта.

3. Организационного характера, проявляющиеся в нарушении ритмичности работы под влиянием неблагоприятного воздействия климатических факторов на обслуживающий персонал.

Причины климатического характера вызывают простои техники в периоды низких отрицательных температур, оговариваемых инструкциями заводов-изготовителей, разработанными применительно к конкретным условиям, активирующих вынужденные простои машин. Предельные значения отрицательных температур по инструкциям заводов-изготовителей составляют для строительной, дорожной и транспортной техники $-30-40^{\circ}\text{C}$. Эти ограничения связаны с низким уровнем хладостойкости стале и недостаточной надежностью гидрооборудования. Гарантированный запас по уровню предельных значений отрицательных температур для узлов электрооборудования установлен при $-35-40^{\circ}\text{C}$, для резинотехнических изделий -35°C , для канатов -15°C [13].

Активированные простои машин по причине критических отрицательных температур не всегда выдерживаются на большинстве предприятий [14, 15, 16, 17]. Вместе с тем на ряде предприятий вовсе отсутствуют какие-либо ограничения режима работы машин по уровню отрицательных температур [18, 19]. Таким образом, критерии, закладываемые в ограничения по активированным простоям техники, часто носят субъективный характер и увязываются в первую очередь с непосредственными потребностями производства, своевременным выполнением плановых заданий [20, 21, 22].

Анализируя таблицы 3 и 4, можно сделать следующие выводы – температура гидроагрегатов зависит от объема рабочей жидкости и расположения агрегата в машине.

Исходя из данных таблицы 5, делаем вывод, что температуру агрегатов в режиме холостого хода можно моделировать с достаточной высокой точностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карнаухов Н.Н. Повышение эффективности работы строительных машин в условиях Севера и Сибири // Автореферат. 1994. С. 3–49.
2. Клиндух Н.Ю. Совершенствование систем гидропривода строительных кранов для эксплуатации при низких температурах // Автореферат. 2007. С. 3–18.
3. Хритин И.В. Экспериментальные исследования влияния сезонных изменений температуры на усилия в конструкциях ограждения котлованов // Вестник гражданских инженеров. 2017. С. 154–152.
4. Васильченко В.А. Особенности эксплуатации горных машин с гидроприводом при низких температурах // Журнал «Горная Промышленность». 2006. С. 4–9.
5. Закирзаков Г.Г., Мерданов Ш.М., Конев В.В., Матвеева А.Д., Дубров С.С. Совершенствование гидропривода строительно-дорожных машин для северных условий эксплуатации // Фундаментальные исследования. 2016. С. 491–495.
6. Jianjun Wang, Jingyi Zhao. Research on Cooperative Control of the Hydraulic System of Multiple Intelligent Vehicles Combined Transportation // Journal of Advanced Transportation. 2020. pp. 2–13.
7. Scott Moura. Mathematical Modeling of Dynamic Systems // Energy Systems and Control. 2018. С. 1–28.
8. Эртман С.А. Приспособленность автомобилей к зимним условиям эксплуатации по температурному режиму двигателей: монография. Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. 128 с.
9. Hao Wu. Mathematical Modeling of Transient Transport Phenomena in PEM Fuel Cells. 2009. pp. 1–170.
10. Ереско А.С., Ереско С.П., Цэрмаа У., Лханаг Д. Особенности эксплуатации гидроприводных систем строительных машин при низких температурах // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2010. С. 199–204.
11. Воскресенский Г.Г. Введение в динамику гидропривода рабочего оборудования мобильных машин: монография. 2015. 179 с.
12. Zengshou Dong, Xujing Zhang. Fault diagnosis for hydraulic system on a modified multi-sensor information fusion method // Int. J. Modelling, Identification and Control. 2013. Pp. 34–35.
13. Вавилов А.В., Яцкевич В.В., Максименко А.Н. Особенности диагностирования механических и гидромеханических трансмиссий транспортных и строительно-дорожных машин // Наука и техника. 2012. С. 27–35.
14. Рылякин Е.Г., Власов П.А. Теоретическое обоснование терморегулирования рабочей жидкости в гидросистеме // Нива Поволжья. 2008. № 1 (6). С. 25–29.
15. Рылякин Е.Г. Система регулирования температуры рабочей жидкости в гидроприводе транспортно-технологических машин // Мир транспорта и технологических машин. 2014. № 3 (46). С. 89–96.
16. Рылякин Е.Г., Кузнецов А.Ю. Разработка системы терморегулирования рабочей жидкости гидропривода // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2015. С. 163–167.
17. Рылякин Е.Г., Волошин А.И. Улучшение работоспособности гидросистемы // Сельский механизатор. 2015. С. 38–40.
18. Hedvall K., Dubois A., Lind. Analysing an activity in context: a case study of the conditions for vehicle maintenance // Industrial Marketing Management. 2016. С. 69–82.
19. Рылякин Е.Г., Волошин А.И. Повышение эффективности работы гидропривода мобильных машин // Электронный журнал «Инженерный вестник Дона». 2015.
20. Верещагин В.И., Янович В.С., Ковальский Б.И., Безбородов Ю.Н., Ганжа В.А. Методы контроля и результаты исследования состояния трансмиссионных и моторных масел при их окислении и триботехнических испытаниях: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. 208 с.
21. Белоглазов А.К., Носков В.О., Чулков А.В. Влияние температуры окружающей среды на работу системы охлаждения тепловоза и его агрегатов // Известия Транссиба. 2015. С. 11–17.
22. Жданов А.В. Математическая модель распределителя позиционного гидропривода строительно-дорожных машин // Омский научный вестник. 2016. № 4 (148). С. 41–44.

REFERENCES

1. Karnauhov N.N. Povyshenie jeffektivnosti raboty stroitel'nyh mashin v usloviyah Severa i Sibiri [Improving the efficiency of construction vehicles in the North and Siberia]. *Avtoreferat*. 1994: 3-49. (in Russian)
2. Klinduh N.Ju. Sovershenstvovanie sistem gidroprivoda stroitel'nyh kranov dlja jekspluatsii pri nizkih temperaturah [Improving the hydraulic systems of building cranes for operation at low temperatures]. *Avtoreferat*. 2007: 3-18. (in Russian)
3. Hritin I.V. Jeksperimental'nye issledovaniya vlijaniya sezonnyh izmenenij temperatury na usilija v konstrukcijah ograzhdenija kotlovanov [Experimental studies of the effect of seasonal temperature changes on the effort in pit fence structures]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2017: 154-152. (in Russian)
4. Vasil'chenko V.A. Osobennosti jekspluatsii gornyh mashin s gidroprivodom pri nizkih temperaturah [Introduction to the dynamics of hydraulic drive of the working equipment of mobile machines]. *Zhurnal «Gornaja Promyshlennost'»*. 2006: 4-9. (in Russian)
5. Zakirzakov G.G., Merdanov Sh.M., Konev V.V., Matveeva A.D., Dubrov S.S. Sovershenstvovanie gidroprivoda stroitel'no-dorozhnyh mashin dlja severnyh uslovij jekspluatsii [Improvement of hydraulic drive of construction and road machines for northern operating conditions]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2016: 491-495. (in Russian)
6. Jianjun Wang, Jingyi Zhao. Research on Cooperative Control of the Hydraulic System of Multiple Intelligent Vehicles Combined Transportation. *Journal of Advanced Transportation*. 2020: 2-13.
7. Scott Moura. Mathematical Modeling of Dynamic Systems. *Energy Systems and Control*. 2018: 1-28.
8. Jertman S.A. *Prisposoblennost' avtomobilej k zimnim uslovijam jekspluatsii po temperaturumomu rezhimu dvigatelej* [Adaptation of cars to winter operating conditions by engine temperature conditions]. Monografija. Tjumen': TjumGNGU, 2014: 128. (in Russian)
9. Hao Wu. Mathematical Modeling of Transient Transport Phenomena in PEM Fuel Cells. 2009: 1-170.
10. Eresko A.S., Eresko S.P., Cjermua U., Lhanag D. Osobennosti jekspluatsii gidroprivodnyh sistem stroitel'nyh mashin pri nizkih temperaturah [Peculiarities of operation of hydraulic drive systems of construction machines at low temperatures]. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie*. 2010: 199-204. (in Russian)
11. Voskresenskij G.G. *Vvedenie v dinamiku gidroprivoda rabocheho oborudovaniya mobil'nyh mashin*. Monografija [Introduction to the dynamics of hydraulic drive of mobile machines working equipment]. 2015: 179. (in Russian)
12. Zengshou Dong, Xujing Zhang. Fault diagnosis for hydraulic system on a modified multi-sensor information fusion method. *Int. J. Modelling, Identification and Control*. 2013: 34-35.
13. Vavilov A.V., Jackevich V.V., Maksimenko A.N. Osobennosti diagnostirovaniya mehanicheskikh i gidromechanicheskikh transmisij transportnyh i stroitel'no-dorozhnyh mashin [Features of mechanical and hydromechanical transmissions of transport and construction-road machines diagnostics]. *Nauka i tehnika*. 2012: 27-35. (in Russian)
14. Ryljakin E.G., Vlasov P.A. Teoreticheskoe obosnovanie termoregulirovaniya rabochej zhidkosti v gidrosistem [Theoretical justification of thermal control of operating fluid in hydraulic systems]. *Niva Povolzh'ja*. 2008; 1 (6): 25-29. (in Russian)
15. Ryljakin E.G. Sistema regulirovaniya temperatury rabochej zhidkosti v gidroprivode transportno-tehnologicheskikh mashin [Operating Fluid Temperature Control System in Hydraulic Drive of Transport and Process Machines]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2014; 3 (46): 89-96. (in Russian)
16. Ryljakin E.G., Kuznecov A.Ju. Razrabotka sistemy termoregulirovaniya rabochej zhidkosti gidroprivoda [Thermal regulation of hydraulic drive working fluid system development]. *Modeli, sistemy, seti v jekonomike, tehnike, prirode i obshchestve*. 2015: 163-167. (in Russian)
17. Ryljakin E.G., Voloshin A.I. Uluchshenie rabotosposobnosti gidrosistemy [Improving Hydraulic System Efficiency]. *Sel'skij mehanizator*. 2015: 38-40. (in Russian)
18. Hedvall K., Dubois A., Lind. Analysing an activity in context: a case study of the conditions for vehicle maintenance. *Industrial Marketing Management*. 2016: 69-82.
19. Ryljakin E.G., Voloshin A.I. Povyshenie jeffektivnosti raboty gidroprivoda mobil'nyh mashin [Improving the Efficiency of Mobile Machine Hydraulic Drive]. *Jelektronnyj zhurnal «Inzhenernyj vestnik Dona»*. 2015. (in Russian)
20. Vereshhagin V.I., Janovich V.S., Koval'skij B.I., Bezborodov Ju.N., Ganzha V.A. *Metody kontrolja i rezul'taty issledovaniya sostojaniya transmissionnyh i motornyh masel pri ih okislenii i tribotekhnicheskikh ispytaniya*. Monografija [Control techniques and results of oxidation and tribotechnical tests of vector and motor oils: monograph. Monograph]. Krasnojarsk: Sib. feder. un-t, 2017: 208. (in Russian)
21. Beloglazov A.K., Noskov V.O., Chulkov A.V. Vlijanie temperatury okruzhajushhej sredy na rabotu sistemy ohlazhdenija teplovoza i ego agregatov [The influence of ambient temperature on the operation of the cooling system of the locomotive and its units]. *Izvestija Transsiba*. 2015: 11-17. (in Russian)
22. Zhdanov A.V. Matematicheskaja model' raspredelitelja pozicionnogo gidroprivoda stroitel'no-dorozhnyh mashin [Mathematical model of the positioning hydraulic drive distributor of construction and road machines]. *Omskij nauchnyj vestnik*. 2016; 4 (148): 41-44. (in Russian)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Охлопков Тихон Николаевич – старший преподаватель, ФГАОУ ВО СВФУ имени М.К. Аммосова, ORCID 0000-0002-1952-2429 (677007, г. Якутск, ул. Красильникова, 13, e-mail: tixontanya@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Tikhon N. Okhlopkov – Senior Lecturer, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education M.K. Ammosov Northeastern Federal University, ORCID 0000-0002-1952-2429 (677007, Yakutsk, Krasilnikova Street, 13, e-mail: tixontanya@mail.ru).

УДК 629.1.04

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-328-339>

ОБОСНОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ГРУЗОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ И КРАНОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

О.Н. Мехонин¹, К.Г. Пугин^{1,2}¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, Россия;^{1,2}Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова,
г. Пермь, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Главным требованием для грузоподъемной техники является строгое соблюдение мер по безопасной эксплуатации, поэтому данному вопросу уделяется особое внимание при проектировании каждой единицы техники. Однако, несмотря на обширный перечень действующей в настоящее время нормативной документации и систематическому контролю, согласно ежегодным официальным отчетам федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за последние годы объекты, на которых используются подъемные сооружения имеют высокие показатели по количеству аварий и несчастных случаев. Кроме того, особенно актуальным в настоящее время является вопрос изучения определения коэффициента грузовой устойчивости при проектировании автомобильных грузоподъемных кранов и автомобильных кранов-манипуляторов, поскольку широкое развитие новых видов грузоподъемного оборудования, в частности развитие рынка кранов-манипуляторов, повлекло за собой появление новых технических вопросов при проектировании и изготовлении данного вида грузоподъемной техники. В рамках реализации исследовательской работы по повышению точности расчета грузовой устойчивости автомобильных грузоподъемных кранов и автомобильных кранов-манипуляторов, на основе анализа архивных и действующих нормативно-технических документов, было рассмотрено возможное появление причин аварий вследствие несовершенства нормативных инструкций или несоблюдения нормативных указаний при проведении проектных работ предприятием-изготовителем.

Материалы и методы. Данная статья посвящена изучению основных положений нормативных документов, регламентирующих проектирование и эксплуатацию автомобильных кранов-манипуляторов и грузоподъемных кранов. Рассмотрены как действующие, так и архивные нормативные документы в сфере грузоподъемного оборудования. Особое внимание уделяется вопросам определения грузовой устойчивости автомобильных грузоподъемных кранов и кранов-манипуляторов.

Обсуждение и заключение. Выделены ключевые отличия методики расчета грузовой устойчивости грузоподъемных кранов и автомобильных кранов-манипуляторов. Приведена статистика аварийности грузоподъемных механизмов и подъемных сооружений Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Выделены основные причины аварий грузоподъемной техники. Предложены пути решения модернизации существующей методики определения грузовой устойчивости автомобильных кранов-манипуляторов за счет включения в расчет ранее не учитываемых факторов, связанных с техническими особенностями применяемого для монтажа крано-манипуляторных установок шасси, способствующих повышению точности получаемых значений коэффициента грузовой устойчивости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: грузоподъемный кран, автомобильный кран-манипулятор, крано-манипуляторная установка, коэффициент грузовой устойчивости, безопасность эксплуатации грузоподъемной техники.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы статьи выражают благодарность рецензентам, работавшим с данной статьей.

Поступила 05.05.2020, принята к публикации 30.06.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

© Мехонин О.Н., Пугин К.Г.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Мехонин О.Н., Пугин К.Г. Обоснование изменения методики расчета грузовой устойчивости автомобильных грузоподъемных кранов и кранов-манипуляторов на основе анализа регламентирующих нормативных документов. *Вестник СибАДИ*. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-328-339>

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-328-339>

CHANGES JUSTIFICATION IN A CALCULATING METHOD OF LOAD STABILITY OF AUTOMOTIVE HOISTING CRANES AND AUTOMOTIVE MANIPULATOR CRANES BASED ON THE NORMATIVE DOCUMENTS ANALYSIS

O.N. Mekhonin¹, K.G. Pugin^{1,2}

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Perm National Research Polytechnic University»,
Perm, Russia

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Perm State
Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov», Perm, Russia

ABSTRACT

Introduction. The main requirement for lifting equipment is a strict compliance with safe operation measures. Therefore, special attention is focused on this issue when designing each unit of the equipment. However, despite the extensive list of the current normative documents and systematic monitoring, according to the annual official reports of the Federal service for environmental, technological and nuclear supervision over recent years the facilities that use lifting structures have high indicators for the number of accidents. In addition, the study of a load stability ratio determining in the design of automotive hoisting cranes and automotive manipulator cranes is particularly relevant at the present time due to a wide development of new lifting equipment as the development of the market for cranes has resulted in the occurrence of new technical issues in design and manufacture this type of lifting equipment. As part of the research work to improve the accuracy of calculating the load stability of automotive hoisting cranes and automotive manipulator cranes based on the analysis of existing normative and technical documents the possible occurrence of the accidents causes due to imperfection of regulatory instructions or non-compliance with regulatory instructions during design manufacturer work was considered.

Materials and methods. This article is devoted to the study the fundamental principles of the nominative documents regulating the design and operation of the automotive hoisting cranes and automotive manipulator cranes. Both of the current and archived nominative documents in the field of lifting equipment are considered. Special attention is paid to the issues of determining the load stability of the automotive hoisting cranes and automotive manipulator cranes.

Discussion and conclusion. The key differences in the calculating method of the load stability of the automotive hoisting cranes and automotive manipulator cranes are highlighted. The accidents statistics of load-lifting mechanisms and lifting structures of the Federal service for environmental, technological and nuclear supervision are given. The main causes of lifting equipment accidents are highlighted. The ways of solving the modernization of the existing methodology for determining the load stability of automotive hoisting cranes are proposed by including previously unrecorded factors related to the technical features of the chassis which contributes to improving the accuracy of the obtained values of the load stability ratio.

KEYWORDS: hoisting crane, automotive manipulator crane, manipulator crane installation, load stability ratio, lifting equipment safety operation.

ACKNOWLEDGEMENTS. The authors of the article express their gratitude to the reviewers who worked with the article.

Submitted 05.06.2020, revised 30.06.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

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

For citation: Mekhonin O.N., Pugin K.G. Changes justification in a calculating method of load stability of automotive hoisting cranes and automotive manipulator cranes based on the normative documents analysis. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-328-339>

© Mekhonin O.N., Pugin K.G.



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

ВВЕДЕНИЕ

Грузоподъемное оборудование является средством повышенной опасности. Именно поэтому особое внимание уделяется к требованиям по обеспечению безопасного проведения подъемно-транспортных работ как для эксплуатирующего персонала, так и для окружающих лиц. Каждый объект, относящийся к сфере грузоподъемного оборудования попадает под действие нормативных документов, регламентирующих его проектирование и эксплуатацию, на протяжении всего своего жизненного цикла до момента списания. Однако, несмотря на обширный перечень действующей в настоящее время нормативной документации и систематическому контролю, согласно ежегодным официальным отчетам федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за последние годы объекты, на которых используются подъемные сооружения, занимают первое место по количеству аварий среди всех 14 видов опасных производственных объектов (ОПО). По количеству несчастных случаев со смертельным исходом объекты, на которых используются подъемные сооружения, занимают третье место среди всех 14 видов ОПО.

Согласно внесенным изменениям в ФЗ-116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» в 2013 г. лифты, эскалаторы, подъемные платформы были исключены из списка опасных производственных объектов. Соответственно основной группой повышенной опасности являются грузоподъемные краны, которые могут различаться принципом действия, конструкцией, способом установки и передвижения, а также используемым типом шасси. Наиболее часто аварии в данной группе происходят с башенными кранами (14 случаев в 2017 г. и 9 случаев в 2018 г.). Наименьшее число зафиксированных аварий произошло с кранами-манипуляторами (в 2017 г. аварий не зафиксировано, в 2018 г. произошла одна авария). Однако данные цифры не говорят об абсолютной безопасности эксплуатации кранов-манипуляторов. Так, например, крано-манипуляторные установки (КМУ) с малой грузоподъемностью и КМУ для работы только со специальным оборудованием не требуют официальной постановки на учет, а во-вторых, в отличие от эксплуатации башенных кранов, где зачастую авария не может произойти без тяжких последствий, владельцы кранов-манипуляторов предпочитают скрыть факт происшествия [1]. По этой

причине в настоящее время не удастся получить статистику аварийности, отражающую реальное количество аварий с участием автомобильных кранов-манипуляторов.

Объемы продаж КМУ говорят о большом интересе со стороны потребителей, так, в 2007 г. в России было произведено 1010 кранов-манипуляторов. В 2012 г. общая продажа отечественного и импортного производства КМУ в России составила 14 037 ед. [2]. Основная масса покупателей частные, небольшие компании. Особенность КМУ состоит в том, что сама манипуляторная установка проектируется как самостоятельная единица отдельно от какого-либо шасси. Предприятия, на которых производится разработка технологической документации на монтаж КМУ на шасси, в настоящее время сталкиваются с ситуацией, когда методики расчета грузовой устойчивости для грузоподъемных кранов, определенные в нормативных документах, не дают правильного расчета. Это обусловлено в первую очередь отставанием нормативных документов от изменяющихся условий технической эксплуатации автомобильных шасси, что в свою очередь повышает аварийность при эксплуатации грузоподъемной техники. Ведущие научные центры России и развитых стран совершенствуют методики расчета элементов грузоподъемных кранов и их грузовой устойчивости [3, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. Для автоматизации расчетов при проектировании используют математическое моделирование, которое позволяет более точно определить опасные сечения в металлоконструкциях, тем самым снизить риски возникновения аварийных ситуаций [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25].

По типу возникновения основные причины аварий грузоподъемных кранов можно разделить на две основные группы, представленные на рисунке 1.

В рамках реализации исследовательской работы по повышению точности расчета грузовой устойчивости автомобильных грузоподъемных кранов и автомобильных кранов-манипуляторов, на основе анализа действующих нормативно-технических документов было рассмотрено возможное появление причин аварий вследствие несовершенства нормативных инструкций или несоблюдения нормативных указаний при проведении проектных работ предприятием-изготовителем. Одним из опасных и распространенных аварийных случаев, который может возникнуть, является потеря устойчивости.



Рисунок 1 – Основные причины аварий грузоподъемных кранов

Figure 1 – Main causes of crane accidents

В различное время вопросам исследования устойчивости грузоподъемных кранов и кранов-манипуляторов посвящали свои работы такие ученые, как М. П. Александров, А. В. Редькин, П. А. Сорокин, А. В. Лагереv, И. А. Лагереv, М. С. Корытов, В. С. Щербаков, А. А. Мильто [4, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25].

Ввиду большого разнообразия конструкций автомобильных шасси и их быстрой модернизации, установка на них КМУ требует постоянного уточнения в проводимых расчетах. В настоящее время вопрос изучения определения коэффициента грузовой устойчивости автомобильных грузоподъемных кранов является особенно актуальным, поскольку широкое развитие новых видов грузоподъемного оборудования, а в частности развитие рынка автомобильных кранов-манипуляторов, повлекло за собой появление новых технических вопросов при проектировании и изготовлении данного вида грузоподъемной техники. Таким образом, целью настоящей работы является обоснование необходимости изменений в существующей методике определения коэффициента грузовой устойчивости автомобильных грузоподъемных кранов и кранов-манипуляторов.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи: провести обзор архивных и действующих нормативных документов, регламентирующих проектирование и эксплуатацию автомобильных грузоподъемных кранов и кранов-манипуляторов, на основе обзора выявить возможные причины появления аварий техники и разработать рекомендации по модернизации существующей методики расчета.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУЗОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СОГЛАСНО НОРМАТИВНЫМ ДОКУМЕНТАМ

Изначально основываясь на общей теоретической базе, требования к кранам-манипуляторам и грузоподъемным кранам не были обособлены, однако с массовым распространением в последующие годы в нашей стране автомобильных кранов-манипуляторов для них был создан отдельный нормативный регулирующий документ, который в последствии, с повышением эксплуатационных характеристик изготавливаемой техники также потребовал изменений в своем содержании.

Однако в настоящее время требования к грузоподъемному оборудованию вновь объединены в едином документе, которым являются федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения», принятые в 2013 г.

Хронологическая последовательность появления основных нормативных документов, регламентирующих проектирование и эксплуатацию грузоподъемных кранов и в дальнейшем кранов-манипуляторов, представлена на рисунке 2.

Первым нормативным документом, регулирующим проектирование, эксплуатацию и освидетельствование грузоподъемных кранов, стали «Правила устройства, освидетель-

ствования и эксплуатации кранов, подъемных механизмов и вспомогательных при них приспособлений», введенные в действие 14 февраля 1940 г. и утвержденные инспекцией Котлонадзора НКПТ.

Согласно данным правил все передвижные краны (железнодорожного типа, гусеничные, автомобильные и пр.) должны быть построены с надлежащей устойчивостью, гарантирующей их от опрокидывания. Коэффициент грузовой устойчивости, т.е. отношение момента относительно ребра опрокидывания всех действующих на кран сил с учетом всех возможных нагрузок (ветра, снега, инерционных сил), кроме рабочего груза, к моменту, создаваемому рабочим грузом относительно того же ребра, должен быть не менее указанного в таблице.



Рисунок 2 – Основные нормативные регулирующие документы в сфере проектирования/изготовления автомобильных грузоподъемных кранов и кранов-манипуляторов и даты введения их в официальное действие

Figure 2 – The Main nominative documents in the field of design / manufacture of automotive hoisting cranes and automotive manipulator cranes and the dates of their implementation into official operation

Таблица
Требования к значению K_y

Table
Value requirements K_y

Грузоподъемность крана	Значение K_y
До 30 т включительно	1,4
Более 30 т	1,3

Просуществовав длительное время, с течением развития технического прогресса данные правила были заменены на «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов», утвержденные Госгортехнадзором РСФСР 24 апреля 1964 г. Однако данный свод правил являлся актуальным не так долго и уже в 1969 г. был модернизирован и переработан. Таким образом были введены в действие правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов, согласованные с ВЦСПС и Госстроем СССР, утвержденные Госгортехнадзором СССР 30 декабря 1969 г.

Согласно данному документу стреловые самоходные (автомобильные, пневмоколесные, гусеничные, железнодорожные) и прицепные краны, краны-экскаваторы, башенные и порталные краны должны быть устойчивы при работе и в нерабочем состоянии. Грузовая и собственная устойчивость крана должны быть проверены расчетом.

Коэффициент грузовой устойчивости, т.е. отношение момента относительно ребра опрокидывания, создаваемого весом всех частей крана с учетом всех дополнительных нагрузок (ветровая нагрузка, принимаемая по ГОСТ 1451–65 «Краны подъемные. Нагрузка ветровая», для рабочего состояния крана, инерционные силы, возникающие при пуске или торможении механизмов подъема груза, поворота и передвижении крана) и влияния наибольшего допустимого при работе крана уклона, к моменту, создаваемому рабочим грузом относительно того же ребра, должен быть не менее 1,15.

Определение числового значения коэффициента грузовой устойчивости (K_y) должно производиться при направлении стрелы перпендикулярно ребру опрокидывания по формуле (1):

$$K_y = \frac{G[(b+c) \cdot \cos \alpha - h_1 \cdot \sin \alpha] - \frac{Q \cdot n^2 \cdot l \cdot h}{900 - n^2 \cdot H}}{Q \cdot (l-b)} + \frac{\frac{Q \cdot V}{g \cdot t} \cdot (l-b)}{Q \cdot (l-b)} + \frac{-\frac{(G_{np}-Q) \cdot V'_2}{g \cdot t_2} \cdot h - \frac{(G_{np}+Q) \cdot V''_2}{g \cdot t_2} \cdot (l-b) - W_{\Delta} - W_1 \cdot p_{o1}}{Q \cdot (l-b)} \geq 1,15 \quad (1)$$

где G – вес крана, кг; G_{np} – вес стрелы и стрелового оборудования, приведенный к оголовку стрелы, кг; Q – вес наибольшего рабочего груза, кг; l – расстояние от оси вращения крана до центра тяжести подвешенного наибольшего рабочего груза, м; b – расстояние от оси вращения крана до ребра опрокидывания, м; c – расстояние от плоскости, проходящей через ось вращения крана параллельно ребру опрокидывания, до центра тяжести крана, м; H – расстояние от головки стрелы до центра тяжести груза, м; h – расстояние от головки стрелы до плоскости, проходящей через точки опорного контура, м; h_1 – расстояние от центра тяжести крана до плоскости, проходящей через точки опорного контура, м; V – скорость подъема груза, м/сек; V'_2 – скорость горизонтального перемещения оголовка стрелы, м/сек; V''_2 – скорость вертикального перемещения оголовка стрелы, м/сек; n – число оборотов крана в минуту; t – время неустановившегося режима работы механизма подъема (пуск, торможение), сек; t_2 – время неустановившегося режима работы механизма изменения вылета стрелы (пуск, торможение), сек; W – сила давления ветра, действующего перпендикулярно ребру опрокидывания и параллельно плоскости, на которой установлен кран, на подветренную площадь крана; принимается по ГОСТ 1451–65 «Краны подъемные. Нагрузка ветровая» для рабочего состояния крана, кгс; W_1 – сила давления ветра, действующего перпендикулярно ребру опрокидывания и параллельно плоскости, на которой установлен кран, на подветренную площадь

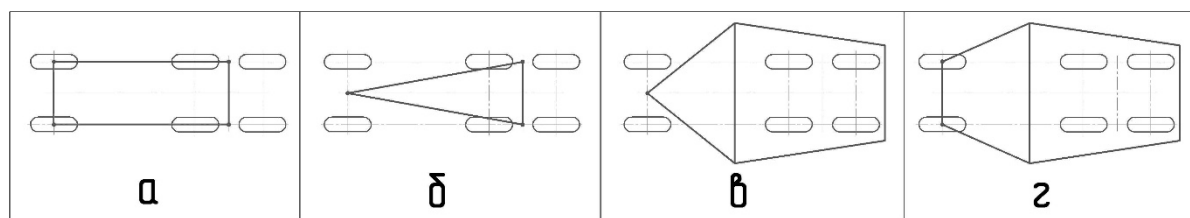


Рисунок 3 – Примеры расположения ребер опрокидывания грузоподъемных кранов:
 а – при жесткой подвеске колес или при включенных механизмах блокировки упругой подвески колес;
 б – при жесткой подвеске колес заднего моста и упругой подвеске переднего моста или опирании на переднюю ось в одной точке;
 в – с выносными опорами и упругой подвеске переднего моста или опирании на переднюю ось в одной точке;
 г – с выносными опорами при жесткой подвеске колес или при включенных механизмах блокировки упругой подвески колес

Figure 3 – Examples of location of the edges tipping over of cranes:
 а – when a hard wheel suspension or with powered locking mechanisms of the elastic suspension;
 б) when a hard wheel suspension rear axle and an elastic suspension of the front axle or the bearing on the front axle at one point,
 in) with external bearings and an elastic suspension of the front axle or the bearing on the front axle at one point;
 г) with external supports with rigid suspension of wheels, or while the locking mechanisms of the elastic suspension of the wheels

груза, для нерабочего состояния крана, кгс;
 W_2 – сила давления ветра, действующего перпендикулярно ребру опрокидывания и параллельно плоскости, на которой установлен кран, на подветренную площадь крана, кгс;
 $ro, ro_1 = h$ и ro_2 – расстояние от плоскости, проходящей через точки опорного контура до центра приложения ветровой нагрузки, м;
 α – угол наклона крана (угол пути), град;
 g – ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/сек.

1 апреля 1986 г. вводится в действие руководящий нормативный документ «Краны стреловые самоходные. Нормы расчета устойчивости против опрокидывания». Данный документ устанавливает нормы проверочного расчета кранов на устойчивость против опрокидывания с целью определения возможности в дальнейшем уточнения действующих правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов Госгортехнадзора СССР.

Согласно данному документу для обеспечения грузовой устойчивости должно выполняться неравенство (2):

$$k \cdot M_o^H \leq m_o \cdot M_y, \quad (2)$$

где M_o^H – опрокидывающий момент от нормативных составляющих нагрузок, действующих на кран, относительно принятого ребра опрокидывания, кН·м, M_y – удерживающий момент крана, относительно принятого ребра опрокидывания, кН·м, k – коэффициент перегрузки,

учитывающий влияние случайных составляющих нагрузок, m_o – коэффициент условий работы.

Однако данный документ наиболее интересен тем, что в нем впервые указаны графические схемы построения ребер опрокидывания кранов в зависимости от наличия выносных опор и типа подвески шасси. Пример таких схем изображен на рисунке 3.

Построение графического опорного контура грузоподъемного крана является особенно важной составляющей расчета по определению грузовой устойчивости, поскольку от точности расположения ребер устойчивости будет напрямую зависеть достоверность результатов расчета.

В 1993 г. происходит смена действующих правил на «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов», утвержденных Госгортехнадзором России 30 декабря 1992 г. Данный свод правил впервые включил в себя официальное распространение на краны-манипуляторы. При этом порядок расчета устойчивости остался действующим согласно РД 22-145-85, рассмотренным выше.

Особенно значимым для проектирования и эксплуатации автомобильных кранов-манипуляторов стали «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов-манипуляторов ПБ 10-257-98», утвержденные Госгортехнадзором 31 декабря 1998 г. Этот свод правил был направлен на то, чтобы наиболее полно отразить характерные технические особенности данного вида техники и

дать определения применяемым терминам в области грузоподъемных кранов-манипуляторов и их основных составных частей. Однако с учетом того, что такие правила создавались впервые и распространялись на многочисленные конструкции и типы кранов-манипуляторов, в том числе на краны-манипуляторы, изготовленные за рубежом, были отображены не все технические отличия от грузоподъемных кранов. В части определения грузовой устойчивости изменений также введено не было.

Для грузоподъемных кранов следующее обновление правил произошло в 2001 г., тогда были введены в действие «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов ПБ 10-382-00», утвержденные Ростехнадзором 31 декабря 1999 г. Изменений в части определения грузовой устойчивости также не последовало.

По просьбе изготовителей и эксплуатирующих краны-манипуляторы лиц к ПБ 10-257-98 были составлены комментарии, вышедшие в 2010 г. Для обеспечения грузовой устойчивости крана-манипулятора авторами предложено выполнять условие (3):

$$K_y > 1, \quad (3)$$

$$\text{где } K_y = M_y / M_o, \quad (4)$$

здесь M_y – удерживающий момент; M_o – опрокидывающий момент.

Удерживающий момент M_y для крана-манипулятора с КМУ, размещенной между кабиной и кузовом автомобиля, должен вычисляться по формуле

$$M_y = G_a f + G_m (c - a), \quad (5)$$

где G_a – вес ненагруженного автомобиля без КМУ, водителя и топлива в топливном баке; G_m – вес КМУ и узлов дооборудования; f – расстояние от центра тяжести автомобиля до ребра опрокидывания; c – расстояние от оси колонны КМУ до ребра опрокидывания; a – расстояние между центром тяжести КМУ и осью колонны.

Опрокидывающий момент M_o для крана-манипулятора с КМУ, размещенной между кабиной и кузовом автомобиля, должен вычисляться по формуле

$$M_o = (1,25P + 0,1G_c) (b - c), \quad (6)$$

где P – вес груза; G_c – вес стрелового оборудования, приведенный к оголовку стрелы; b – вылет.

Поправочный коэффициент 1,25 используется для машин с КМУ, расположенной за кабиной. В случае установки КМУ на заднем свесе шасси используется коэффициент 1,4, который компенсирует возможные перемещения рамы и надрамника крана.

В данных комментариях наиболее широко отражены технические особенности кранов-манипуляторов. Так, в отличие от стреловых кранов, оснащенных решетчатыми и телескопическими стрелами, краны-манипуляторы имеют шарнирно-сочлененное стреловое оборудование, состоящее из отдельных звеньев переменной длины, установленных на вертикальной колонне КМУ, монтируемой на шасси транспортного средства в различных ее частях, оборудованных одной парой выносных аутригеров.

В 2015 г. были введены в действие ГОСТ 32579.1–2013 «Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Часть 1. Общие положения» и ГОСТ 32579.2–2013 «Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Часть 2. Краны стреловые самоходные».

В первой части были определены общие принципы формирования расчетных нагрузок и их комбинации, используемые для проектирования грузоподъемных кранов и их механических элементов, произведено деление расчетных коэффициентов и комбинаций эксплуатационных нагрузок на три группы. В первую группу вошли критерии, связанные с ограничением долговечности отдельных элементов кранового оборудования. Во вторую группу вошли критерии, учитывающие нарушение работоспособности, обусловленные деформацией или разрушением отдельных элементов, потерей устойчивости в пространстве отдельной частью или всего грузоподъемного устройства, превышением максимального момента тормозных механизмов. В третью группу включены критерии, связанные с нарушением нормальной эксплуатации (упругие деформации, колебания груза или всего механизма). Для выполнения расчетов грузоподъемных устройств и его отдельных элементов

по критериям работоспособности была предложена таблица, в которой собраны значимые факторы и определены их комбинации, которые могут возникнуть при эксплуатации.

Во вторую часть вошли дополнительные рекомендации по определению динамических коэффициентов для основных нагрузок для разных типов кранов. В приложении дано четкое определение выбора ребер опрокидывания для автомобильных, пневмоколесных и гусеничных самоходных кранов. Уточняется, что устойчивость должна быть определена для самого критичного ребра опрокидывания. Также в этой части указывается на то, что следует учитывать, что положение центра тяжести при выполнении работ может смещаться, однако не указывается как это смещение зависит от вида шасси и характеристик подвески.

Дополнительно был выпущен ряд нормативных документов, в которых не было существенной информации, относящейся к особенностям проектирования и расчета КМУ. В частности, со временем изменяется терминология, согласно которой термин «автомобильный кран-манипулятор» заменяется на «кран погрузочный» по ГОСТ 33709.1–2015 «Краны грузоподъемные. Словарь». Это еще раз доказывает факт происходящих изменений в нормативной документации.

В настоящее время действующим нормативным документом, объединившим требования к грузоподъемным кранам и кранам-манипуляторам, являются «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» от 12 ноября 2013 г. В данных правилах требования к расчету грузовой устойчивости для кранов-манипуляторов не были изменены.

Однако некоторые характерные технические особенности до сих пор не описаны в нормативных документах. Так, для определения грузовой устойчивости автомобильных кранов-манипуляторов ключевым отличием является то, что кран-манипулятор в отличие от стрелового крана не вывешивают на дополнительных опорах, а только ограничивают наклон крана-манипулятора с помощью аутригеров, не производя полную разгрузку шасси автомобиля. При работе крана-манипулятора может наблюдаться явление, при котором происходит наклон шасси, а затем и колонны крано-манипуляторной установки в сторону поднимаемого груза. При этом происходит изменение опорного контура крана, ребро опрокидывания смещается к центру шасси,

что может привести к опрокидыванию автомобильного крана-манипулятора.

Авторами настоящего исследования также проведены опубликованные ранее экспериментальные расчеты, отражающие величину погрешности коэффициента грузовой устойчивости при возможном смещении ребра опрокидывания крана.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изначально основываясь на общей теоретической базе, методика определения грузовой устойчивости грузоподъемных кранов является основой и для расчета устойчивости автомобильных кранов-манипуляторов. В результате проведенного анализа архивных и действующих нормативных документов мы можем увидеть, что к моменту появления в нашей стране кранов-манипуляторов требования к расчету грузоподъемных кранов были неоднократно изменены. Это связано с расширением учитываемых технических параметров и снижением теоретического коэффициента запаса.

Однако и на сегодняшний день при проведении расчета остаются неотраженными некоторые из технических особенностей кранов-манипуляторов, в частности, при построении опорного контура не учитывается его возможное смещение при подъема груза вследствие конструктивных особенностей подвески шасси. Включение в расчет дополнительных факторов позволит обеспечить результаты расчета, наиболее точно отражающие технические характеристики изготавливаемой грузоподъемной техники.

Стремление производителей к повышению эффективности изготавливаемой техники обуславливает рост потребности в повышении точности проводимых расчетов, главным принципом которых является прежде всего обеспечение безопасной эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щеткин Р.В., Щербаков И.Ю., Бадурин А.П., Новоселов В.А. Основные проблемы сертификации автомобильных кранов-манипуляторов и пути их решения при организации серийного производства // Промышленность и безопасность. 2015. №2. С. 20–23.
2. Бандурин Р.А. Рынок кранов-манипуляторов в России // Проблемы современной экономики. 2015. № 26. С. 138–142.
3. Бармин И.В., Милютин В.Н., Дерновой В.М. Авария автомобильного грузоподъемного крана // Безопасность труда в промышленности. 2015. № 7. С. 72–74.

4. Александров М.П. Грузоподъемные машины. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 552 с.
5. Kacalak W., Budniak Z., Majewski M. Stability assessment as a criterion of stabilization of the movement trajectory of mobile crane working elements *Int. J. of Applied Mechanics and Engineering*. 2018. vol.23. No.1. pp. 65-77 DOI: 10.1515/ijame-2018-0004.
6. Fujioka D., Rauch A., Singhose W. Tip-Over Stability Analysis of Mobile Boom Cranes with Double-Pendulum Payloads. In *Proceedings of the American Control Conference 2009*, St. Louis, MO, USA, 10–12 June 2009; pp. 3136–3141.
7. Борисов В.А. Сравнительный анализ различных концепций обеспечения устойчивости грузоподъемных кранов // Безопасность труда в промышленности. 2010. № 1. С. 13–16.
8. Kacalak W., Budniak Z. and Majewski M. Crane stability for various load conditions and trajectories of load translocation. *Mechanic*, 2016 No.12. pp. 1820-1823.
9. Posiadala B., Warys P., Cekus D. and Tomala M. The dynamics of the forest crane during the load carrying. – *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 2013 vol.13, No.7. pp.1340013.
10. Romanello G. Stability analysis of mobile cranes and determination of outriggers loading. *J. Eng. Des. Technol.* 2018. № 16. pp. 938–958.
11. Зорин В.А., Баурова Н.И. Повышение безопасности дорожно-строительных машин и оборудования // Наука и техника в дорожной отрасли, 2009. № 1. С. 39–40.
12. Жадановский Б.В. Организация устойчивости подъемно-транспортных средств в строительном производстве // Вестник МГСУ. 2016. № 5. С. 52–58.
13. Rauch A. Stability analysis of mobile boom cranes / A. Rauch. – Atlanta: Georgia Institute of Technology, 2008. 103 p.
14. Antsev V.Y., Tolokonnikov A.S., Gorynin A.D. and Reutov A.A., A statistical model of operational impacts on the framework of the bridge crane. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. vol. 10. pp. 012053.
15. Olearczyk J., Bouferguène A., Al-Hussein M. et al. "Automating motion trajectory of crane-lifted loads", *Automation in Construction*. 2014. Vol. 45. Pp. 178.
16. Wu J.; Guzzomi A.L., Hodkiewicz M. Static stability analysis of non-slewing articulated mobile cranes. *Aust. J. Mech. Eng.* 2014. № 12. pp. 60–76.
17. Lei Z., Taghaddos H., Hermann U. 'A methodology for mobile crane lift path checking in heavy industrial projects. *Autom Constr.* 2013. Vol. 31. Pp. 201341–53.
18. Olearczyk J., Lei Z., Ofriim B., Sh. Han and M. Al-Hussein, Intelligent Crane Management Algorithm for Construction Operation. In: *2015 Proceeding of 32nd ISARC*.
19. Корытов М.С., Щербаков В.С., Беляков В.Е. Уменьшение угловых колебаний груза на гибком подвесе при перемещении базового шасси грузоподъемного крана // Строительные и дорожные машины. 2019. № 6. С. 45–51.
20. Лагерева А.В., Кончиц С.В., Блейшмидт Л.И. Оценка риска при эксплуатации самоходных грузоподъемных кранов стрелового типа в условиях недостаточной информации // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2017. № 2. С. 77–94.
21. Редькин А.В., Сорокин П.А. Методы обеспечения устойчивости стреловых самоходных кранов при ненормируемых внешних воздействиях // Строительные и дорожные машины. 2016. № 9. С. 16–19.
22. Сорокин П.А., Редькин А.В., Жильцов А.В. Обеспечение устойчивости стрелового самоходного крана с электрогидравлическим приводом // Подъемно-транспортное дело. 2008. № 6. С. 5–7.
23. Корытов М.С., Щербаков В.С., Беляков В.Е. Анализ влияния диагональных углов наклона опорной платформы грузоподъемного крана на координаты оголовка телескопической стрелы // Строительные и дорожные машины. 2019. № 7. С. 32–39.
24. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating Non-Telescoping Boom Cranes Using Finite Element Method // *International Review on Modelling and Simulations*. 2015. Vol. 8. №2. pp. 223-226. DOI: <http://dx.doi.org/10.15866/iremos.v8i2.5713>.
25. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Tool for Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating Cranes // *International Review on Modelling and Simulations (I.R.E.MO.S.)*. 2014. Vol. 7. № 4. pp. 644–652. DOI: <http://dx.doi.org/10.15866/iremos.v7i4.2045>.

REFERENCES

1. Shchetkin R.V., Scherbakov I.Yu., Badurin A.P., Nowilov V.A. Osnovnye problemy sertifikatsii avtomobil'nykh kranov-manipulyatorov i puti ih resheniya pri organizatsii serijnogo proizvodstva [Main problems of car cranes-manipulators certification and ways of their solution in the serial production organization]. *Promyshlennost' i bezopasnost'*. 2015; 2: 20–23. (in Russian)
2. Bandurin R.A. Rynok kranov-manipulyatorov v Rossii [Manipulator cranesmarket in Russia]. *Problemy sovremennoj jekonomiki*. 2015; 26: 138-142. (in Russian)
3. Barmin I.V., Milyutin, V.N., Dernovoj V.M. Avarija avtomobil'nogo gruzopod'emnogo kрана [Automotive hoisting cranes accident]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2015; 7: 72-74. (in Russian)
4. Alexandrov M. P. *Gruzopod'emnye mashiny* [Load-lifting machines]. Moscow: N.E. Bauman MGTU, 2000: 552 p. (in Russian)
5. Kacalak W., Budniak Z., Majewski M. Stability assessment as a criterion of stabilization of the movement trajectory of mobile crane working elements *Int. J. of Applied Mechanics and Engineering*. 2018; 23, No.1: 65-77 DOI: 10.1515/ijame-2018-0004.
6. Fujioka D., Rauch A., Singhose W. Tip-Over Stability Analysis of Mobile Boom Cranes with Double-Pendulum Payloads. In *Proceedings of the American Control Conference 2009*, St. Louis, MO, USA, 10–12 June 2009: 3136–3141.

7. Borisov V.A. Sravnitel'nyj analiz razlichnykh koncepcij obespechenija ustojchivosti gruzopod'emnykh kranov [Comparative analysis of various concepts of lifting cranes stability]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* – 2010; 1: 13-16. (in Russian)
8. Kacalak W., Budniak Z. and Majewski M. Crane stability for various load conditions and trajectories of load translocation. *Mechanic*, 2016; 12: 1820-1823.
9. Posiadala B., Warys P., Cekus D. and Tomala M. The dynamics of the forest crane during the load carrying. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*. 2013; 13, No. 7: 1340013.
10. Romanello G. Stability analysis of mobile cranes and determination of outriggers loading. *J. Eng. Des. Technol.* 2018; 16: 938–958.
11. Zorin V.A., Baurova N.I. Povyshenie bezopasnosti dorozhno-stroitel'nykh mashin i oborudovaniya [Improving Safety of Road Construction Machines and Equipment]. *Nauka i tehnika v dorozhnoy otrasli*. 2009; 1: 39–40. (in Russian)
12. Zhadanovsky B.V. Organizatsiya ustojchivosti pod'emno-transportnykh sredstv v stroitel'nom proizvodstve [Organization of lifting and transport vehicles stability in construction production]. *Vestnik MGSU*. 2016; 5: 52-58. (in Russian)
13. Rauch A. Stability analysis of mobile boom cranes. Atlanta: Georgia Institute of Technology, 2008: 103 p.
14. Antsev V.Y., Tolokonnikov A.S., Gorynin A.D. and Reutov A.A., A statistical model of operational impacts on the framework of the bridge crane. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017; 10: 012053.
15. Olearczyk J., Bouferguène A., Al-Hussein M. et al. "Automating motion trajectory of crane-lifted loads", *Automation in Construction*. 2014; 45: 178.
16. Wu J.; Guzzomi A.L.; Hodkiewicz M. Static stability analysis of non-slewing articulated mobile cranes. *Aust. J. Mech. Eng.* 2014; 12: 60–76.
17. Lei Z., Taghaddos H., Hermann U. 'A methodology for mobile crane lift path checking in heavy industrial projects. *Autom Constr.* 2013; 31: 201341–53.
18. Olearczyk J., Lei Z., Ofri B., Sh. Han and M. Al-Hussein, Intelligent Crane Management Algorithm for Construction Operation. In: 2015 Proceeding of 32nd ISARC.
19. Koritov M. S., Scherbakov V.S., Belyakov V.E. Umen'shenie uglovyykh kolebanij gruzha na gibkom podvese pri peremeshhenii bazovogo shassi gruzopod'emnogo kрана [Reducing angular oscillations of the load on a flexible suspension when moving a base chassis of a crane]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2019; 6: 45-51. (in Russian)
20. Lagerev A.V., Konchitz S.V., Bleishmidt L.I. Ocenka riska pri jekspluatatsii samohodnykh gruzopod'emnykh kranov strelovogo tipa v usloviyakh nedostatochnoy informatsii [Risk assessment during operation of self-propelled jib type crane in conditions of insufficient information] *Nauchno-tehnicheskij vestnik Brjanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017; 2: 77-94. (in Russian)
21. Redkin A.V., Sorokin P.A. Metody obespechenija ustojchivosti strelovyykh samohodnykh kranov pri nenormiruemykh vneshnih vozdeystviyakh [Ensuring stability methods of self-propelled jib type cranes under abnormal external impacts]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2016; 9: 16-19. (in Russian)
22. Sorokin P. A., Redkin A. V., Zhil'cov A. V. Obespechenie ustojchivosti strelovogo samohodnogo kрана s jelektrogidravlicheskim privodom [Stability of a self-propelled jib type crane with electro hydraulic drive]. *Pod'jomno-transportnoe delo*. 2008; 6: 5-7. (in Russian)
23. Koritov M.S., Scherbakov V.S., Belyakov V.E. Analiz vliyaniya diagonal'nykh uglov naklona opornoj platformy gruzopod'emnogo kрана na koordinaty ogolovka teleskopicheskoy strely [Analysis of the influence of diagonal angles of a support platform inclination of a lifting crane on the coordinates of a telescopic boom head]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2019; 7: 32-39. (in Russian)
24. Lagerev A.V., Lagerev A.I., Milto A.A. Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating Non-Telescoping Boom Cranes Using Finite Element. *International Review on Modelling and Simulations*. 2015; 8. №2: 223-226. <http://dx.doi.org/10.15866/iremos.v8i2.5713>.
25. Lagerev A.V., Lagerev A.I., Milto A.A. Tool for Preliminary Dynamics and Stress Analysis of Articulating. *International Review on Modelling and Simulations (I.R.E.MO.S.)*. 2014; 7. № 4: 644-652. DOI: <http://dx.doi.org/10.15866/iremos.v7i4.2045>.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Пугин Константин Георгиевич. Формулировка направления и темы исследования. Руководство процессом разработки темы. Выбор методологии и методов исследования.

Мехонин Олег Николаевич. Анализ состояния вопроса и результатов исследования. Оформление статьи.

CONTRIBUTION OF CO-AUTHORS

Konstantin G. Pugin – the area and themes of research formulating, the theme development process management, research methodology and methods selection.

Oleg N. Mekhonin – the issue state and the results of the study analysis, the article layout.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пугин Константин Георгиевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Автомобили и технологические машины» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ)», ORCID ID: 0000-0002-1768-8177 (614990, г. Пермь, Комсомольский просп., д. 29, e-mail: 123zzz@rambler.ru); проф. кафедры «Технический сервис и ремонт машин» Федерального государственного бюджетного образовательного

го учреждения высшего образования «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова (Пермский ГАТУ)» (614990, г. Пермь, ул. Петropавловская, д.23).

Мехонин Олег Николаевич – аспирант кафедры «Автомобили и технологические машины» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет (ПНИПУ)», ORCID ID: 0000-0003-2215-0707, (614990, г. Пермь, Комсомольский просп., д. 29, e-mail: onm13@yandex.ru).

AUTHOR INFORMATION

Konstantin G. Pugin – Dr. of Sci., Professor of the Automobiles and Technological Machines Department,

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Perm National Research Polytechnic University (PNRPU), ORCID ID: 0000-0002-1768-8177, (614990, Perm, Komsomolsii Ave., 29, e-mail: 123zzz@rambler.ru); Professor of the Technical Service and Machines Repair Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Academician D.N. Prianishnikov Perm State Agrarian and Technological University (614990, Perm, Petropavlovsk Street., 23).

Oleg N. Mekhonin – postgraduate student of the Automobiles and Technological Machines Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Perm National Research Polytechnic University (PNRPU), ORCID ID: 0000-0003-2215-0707, (614990, Perm, Komsomolsii Ave., 29, e-mail: onm13@yandex.ru).

УДК 625.08

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-340-350>

АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТИ КОНСОЛЬНОГО НОЖА С ГРУНТОМ

В.А. Николаев

ФГБОУ ВО ЯТУ,

г. Ярославль, Россия

Nikolaev53@inbox.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. В условиях России использование для удаления верхнего слоя грунта технических средств циклического действия нецелесообразно. Проблема ускорения строительства автодорог, повышения их качества может быть решена путём применения агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя. Основными рабочими органами агрегата являются ковши, включающие нижние ножи, правые ножи и консольные ножи. Консольный нож содержит кромку лезвия, переднюю фаску лезвия, поверхность и нижнюю плоскость. Анализ взаимодействия с грунтом элементов консольного ножа агрегата непрерывного действия представляет теоретический и практический интерес.

Методика исследования. Заменено последовательное воздействие на грунт многих консольных ножей в пределах ширины захвата агрегата воздействием на грунт одного условного консольного ножа на расстоянии, необходимом для разработки одного кубического метра грунта. Силы взаимодействия условного консольного ножа с грунтом названы условными силами. Приведена методика расчёта затрат энергии при внедрении консольного ножа в грунт: на преодоление напора грунта на переднюю фаску консольного ножа, на подъём грунта, на вертикальное ускорение грунта передней фаской, на преодоление трения грунта о переднюю фаску и преодоления трения грунта о нижнюю плоскость консольного ножа. Общие затраты энергии при взаимодействии консольного ножа с грунтом объёмом один кубический метр получены сложением частных затрат энергии.

Результаты. На основе разработанной методики рассчитаны затраты энергии при внедрении консольного ножа в грунт: на преодоление напора грунта на переднюю фаску консольного ножа, на подъём грунта, на вертикальное ускорение грунта передней фаской, на преодоление трения грунта о переднюю фаску и преодоления трения грунта о нижнюю плоскость консольного ножа. Определены общие затраты энергии и их структура при взаимодействии консольного ножа с грунтом объёмом один кубический метр. Определена горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения консольного ножа.

Заключение. Суммарная энергия, необходимая для резания грунта консольными ножами около 20 кДж/куб.м. При этом затраты энергии на взаимодействие кромок лезвий консольных ножей с грунтом около 7 тыс. Дж/куб.м, на взаимодействие фасок лезвий консольных ножей с грунтом около 6 тыс. Дж/куб.м, на преодоление трения грунта о нижнюю плоскость консольного ножа 7 тыс. Дж/куб.м. Для определения общих затрат энергии на резание грунта ковшами агрегата для удаления верхнего слоя грунта с подстилающего слоя автодороги нужно проанализировать взаимодействие с грунтом других элементов ковша.

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

Поступила 02.06.2020, принята к публикации 30.06.2020.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Николаев В.А. Анализ взаимодействия поверхности консольного ножа с грунтом. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-340-350>

© Николаев В.А.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-340-350>

INTERACTION ANALYSIS OF THE CONSOLE KNIFE SURFACE WITH THE SOIL

V. A. Nikolaiev

Yaroslavl Technical University,

Yaroslavl, Russia

nikolaiev53@inbox.ru

ABSTRACT

Introduction. In Russia the use of cyclical equipment to remove the top layer of the soil is not feasible. The problem of the roads construction accelerating, improving their quality can be solved by applying a continuous action unit to form a litter layer. The main working bodies of the unit are buckets, including lower knives, right knives and console knives. A console knife contains the edge of the blade, the front face of the blade, the surface and the lower plane. The analysis of the interaction with the ground elements of the continuous action unit console knife is of theoretical and practical interest.

The method of research. A consistent impact of many console knives on the ground within the width of the capture unit by the impact of one conventional console knife on the ground at a distance needed to develop one cubic meter of soil is replaced. The interaction forces of the conventional console knife with the ground are called conventional forces. The method of calculating energy costs when introducing a console knife into the ground is presented: to overcome the pressure of the ground on the front face of the console knife, to lift the ground, to vertical acceleration of the soil of the front bevel, to overcome the friction of the ground on the front face and to overcome the friction of the ground on the lower plane of the console knife. The total energy costs of the interaction of the console knife with the ground volume of one cubic meter are obtained by the addition of private energy expenditures.

Results. On the basis of the developed method, energy costs are calculated when introducing a console knife into the ground: to overcome the pressure of the ground on the front face of the console knife, to lift the ground, to vertical acceleration of the soil of the front bevel, to overcome the friction of the ground on the front face and to overcome the friction of the ground on the lower plane of the console knife. The total energy costs and their structure when the console knife interacts with the ground volume of one cubic meter are defined. The horizontal longitudinal force needed to move the console knife has been determined.

Conclusion. The total energy needed to cut the ground with console knives is about 20 kJ/cub.m. At the same time energy costs for the interaction of console knives blades edges with soil about 7,000 J/cub.m, on the interaction of the packing console knives blades with the ground about 6,000 J/cub.m, to overcome the ground friction on the lower plane of the console knife 7, 000 J/cub.m. To determine the total energy costs of cutting the ground with buckets of the unit to remove the top layer of the soil from the underlying layer of the road, the interaction with the soil of other elements of the bucket is necessary to be analyzed.

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

Submitted 02.06.2020, revised 30.06.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

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

For citation: Nikolaiev V.A. Interaction analysis of the console knife surface with the soil. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-340-350>

© Nikolaiev V. A.



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

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1) определены затраты энергии: на преодоление напора грунта на переднюю фаску консольного ножа, на подъём грунта, на вертикальное ускорение грунта передней фаской, на преодоление трения грунта о переднюю фаску и преодоления трения грунта о нижнюю плоскость консольного ножа;

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

3) выявлена структура затрат энергии при взаимодействии консольного ножа с грунтом;

4) определена горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения консольного ножа.

ВВЕДЕНИЕ

Чтобы автомобильная дорога была долговечной, следует тщательно удалить верхний слой грунта, не затрагивая грунт, расположенный под верхним слоем. Обычно эту работу выполняют бульдозерами, экскаваторами и другими техническими средствами циклического действия. Эти технические средства универсальны, но их производительность ограничена. В странах с малой протяжённостью строящихся автодорог ограниченная производительность технических средств циклического действия при удалении верхнего слоя грунта оказывает относительно небольшое влияние на время строительства и затраты на строительство. В сравнении с другими странами в России имеется большая потребность в строительстве автодорог большой протяжённости. Кроме того, в связи с суровым климатом невозможно вести качественно земляные работы в зимний период. В таких условиях использование для удаления верхнего слоя грунта технических средств циклического действия нецелесообразно. Проблема ускорения строительства автодорог, повышения их качества может быть решена путём применения агрегата непрерывного действия для формирования подстилающего слоя [1, 2].

Основными рабочими органами этого агрегата являются ковши, которые отрезают пласт грунта снизу и сбоку. При этом нижнее лезвие отрезает слой грунта снизу, правое лезвие – сбоку, а лезвие консольного ножа частично подрезает верхний слой грунта снизу для следующего ковша. Все ножи легкоосъемные. Геометрические параметры ковша получены из конструктивной компоновки агрегата [2]. Консольный нож содержит кромку лезвия, переднюю фаску лезвия, поверхность и нижнюю

плоскость. Так как лезвие консольного ножа расположено под углом 45° к направлению перемещения ковша, происходит резание грунта со скольжением. При этом угол заострения лезвия консольного ножа в продольно-вертикальной плоскости, то есть в направлении движения агрегата, будет значительно меньше угла его заточки, измеренного в вертикальной плоскости, перпендикулярной лезвию.

Теоретические основы резания грунта весьма подробно рассмотрены [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27]. Однако авторы применяют преимущественно синтезный метод, рассматривая рабочий орган в целом. Недостаток этого метода заключён в сложности оценки частных затрат энергии при работе каждого элемента рабочего органа. Не зная величины частных затрат энергии при работе каждого элемента рабочего органа, их увеличение или уменьшение при изменении величины того или иного геометрического параметра элемента рабочего органа, сложно осмысленно его совершенствовать. Поэтому часто совершенствуют рабочие органы интуитивно. Взаимодействие кромки лезвия консольного ножа с грунтом проанализировано [2]. Анализ взаимодействия с грунтом других элементов консольного ножа агрегата непрерывного действия представляет теоретический и практический интерес.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Разделим консольный нож на элементы. Проведём анализ взаимодействия этих элементов с грунтом. Существуют два способа определения затрат энергии на перемещение рабочего органа в грунте [27]. Воспользуемся способом, который состоит в выявлении условных сил и затрат энергии при разработке одного кубического метра грунта. Заменим последовательное воздействие на грунт многих консольных ножей в пределах ширины захвата агрегата воздействием на грунт одного условного консольного ножа на расстоянии, необходимом для разработки одного кубического метра грунта. Силы взаимодействия условного консольного ножа с грунтом назовём условными силами. Установлено [27], что резание грунта лезвием происходит микроотрывами. Поэтому для определения мгновенных значений сил выявленные условные силы приводят к расстоянию одного микроотрыва.

Чтобы определить условные силы при разработке одного кубического метра грунта, приложенные к консольному ножу, следует выявить составляющие затрат энергии на реза-

ние. При внедрении консольного ножа в грунт существуют затраты энергии (за исключением затрат энергии на взаимодействие с грунтом кромки лезвия):

- на преодоление напора грунта на переднюю фаску консольного ножа;
- на подъём грунта;
- на вертикальное ускорение грунта передней фаской;
- на преодоление трения грунта о переднюю фаску;
- на преодоление трения грунта о поверхность консольного ножа;
- на преодоление трения грунта о нижнюю плоскость консольного ножа.

Затраты энергии на преодоление напора грунта на переднюю фаску консольного ножа

На основании относительности движения допустим, что не консольный нож преодолевает сопротивление грунта, а грунт набегает на консольный нож со скоростью v_k . Заменим постепенное воздействие грунта на нож одномоментным воздействием всей массы, сосредоточенной в слое при разработке одного кубического метра грунта. Мгновенная сила $F_{Г-конс}$ набегающего грунта равна силе его инерции

$$F_{Г-конс} = am_{Г-к} = \rho \frac{V_{Г-к}}{\tau_{Г-к}} (v_k - v_{кон}), \quad (1)$$

где ρ – плотность грунта. Если учитывать только объём грунта, непосредственно воздействующего на переднюю фаску консольного ножа в секунду, то

$$\frac{V_{Г-к}}{\tau_{Г-к}} = b_k h_k v_k,$$

где b_k – ширина захвата консольного ножа; h_k – толщина консольного ножа.

Поскольку затратами энергии на деформацию части массива грунта пренебрегли [3], то для расчёта затрат энергии на преодоление напора грунта на переднюю фаску консольного ножа примем как объём грунта, непосредственно воздействующего на переднюю фаску консольного ножа, так и объём грунта, расположенного выше консольного ножа, то есть грунта, сечение которого заключено в прямоугольнике $ACDE$ (рисунок 1). Поэтому

$$\frac{V_{Г-к}}{\tau_{Г-к}} = b_k h_{сл} v_k, \quad (2)$$

где $h_{сл} = 250$ мм – максимальная глубина срезаемого слоя грунта.

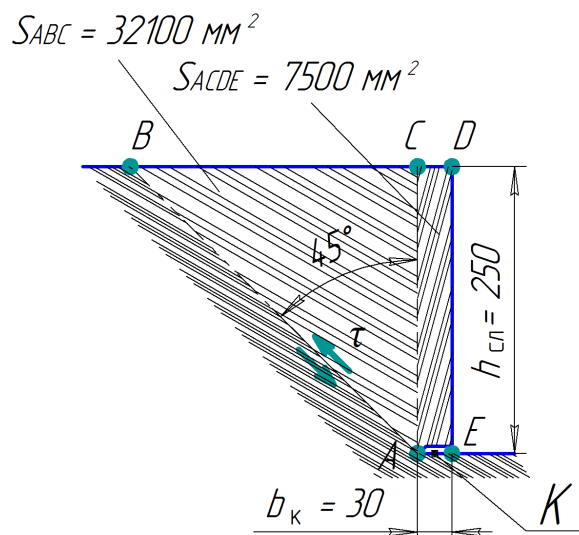


Рисунок 1 – К определению сечения грунта, воздействующего на переднюю фаску консольного ножа

Figure 1 – To determine the cross-section of the soil that effects on the front bevel of the console knife

Масса грунта, воздействующего на переднюю фаску консольного ножа в секунду,

$$m_{Г-к} = \rho \frac{V_{Г-к}}{\tau_{Г-к}}. \quad (3)$$

Конечная горизонтальная скорость набегающего грунта зависит от многих факторов. Допустим, конечная горизонтальная скорость набегающего грунта $v_{кон} = 0$. Тогда мгновенная сила $F_{Г-конс}$ набегающего грунта

$$F_{Г-конс} = m_{Г-к} (v_k - v_{кон}) = m_{Г-к} v_k, \quad (4)$$

где v_k – скорость ковша или скорость, с которой грунт набегает на консольный нож.

Суммарная сила воздействия грунта, набегающего на переднюю фаску консольного ножа, при разработке грунта объёмом один кубический метр

$$F_{\Sigma Г-конс} = F_{Г-конс} \tau_k, \quad (5)$$

где τ_k – время перемещения ковша на расстояние S_k при разработке грунта объёмом один кубический метр.

Энергия на преодоление напора грунта на переднюю фаску консольного ножа

$$u_{Г-конс} = F_{Г-конс} S_k. \quad (6)$$

Затраты энергии на подъём грунта консольным ножом

Если бы пласт грунта был отделён от его массива, то энергия, необходимая для подъё-

ма грунта, являлась бы потенциальной энергией подъема груза на высоту h_k , равную толщине консольного ножа. Сложность определения энергии, необходимой для подъема грунта, заключена в том, что, с одной стороны, пласт грунта не отделён от его массива. Поэтому следовало бы учитывать общую площадь сечения участка грунта, на который воздействует консольный нож (см. рисунок 1): $S_{\text{общ}} = 7500 + 32100 = 39600 \text{ мм}^2$.

С другой стороны, подъема участка грунта почти не происходит. Происходит преимущественно накопление в грунте упругого потенциала. Поэтому примем площадь сечения участка грунта, на который воздействует консольный нож, только $S_{ACDE} = 7500 \text{ мм}^2$. Объем грунта, поднимаемый консольным но-

жом, $V_{\text{под}} = 1 \text{ м}^3$. Объемная масса грунта ρ . Масса грунта, поднимаемого консольным ножом,

$$m_{\text{под}} = \rho V_{\text{под}}. \quad (7)$$

Условная сила, необходимая для подъема грунта объемом один кубический метр консольным ножом

$$F_{\text{подконс}} = m_{\text{под}} g, \quad (8)$$

где $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Энергия, необходимая для подъема грунта консольным ножом,

$$u_{\text{подконс}} = m_{\text{под}} g h_k. \quad (9)$$

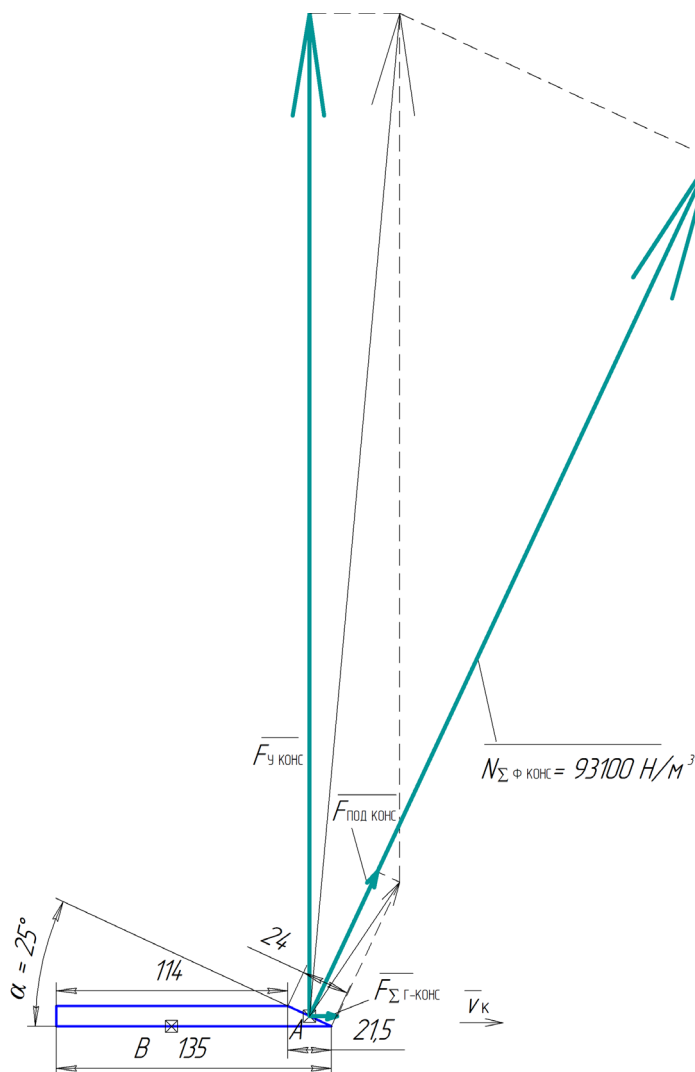


Рисунок 2 – Схема условных сил воздействия консольного ножа на грунт в продольно-вертикальной плоскости

Figure 2 – Conventional forces scheme of the console knife impact on the soil in a longitudinal vertical plane

Придадим (рисунок 2) условной силе, необходимой для подъёма грунта объёмом один кубический метр консольным ножом, направление под углом трения стали по грунту $\varphi_{с-г}$ в плоскости, перпендикулярной плоскости передней фаски консольного ножа. Из пространственной модели [3] проекции сил $F_{отркнс} + F_{щкнс}$ на оси

$$F_{кх} = 0,389(F_{отркнс} + F_{щкнс});$$

$$F_{ку} = 0,389(F_{отркнс} + F_{щкнс});$$

$$F_{кз} = 0,834(F_{отркнс} + F_{щкнс}).$$

По аналогии определим проекции условной силы $F_{подкнс}$:

$$F_{подкх} = 0,389F_{подкнс};$$

$$F_{подку} = 0,389F_{подкнс}; \quad (10)$$

$$F_{подкз} = 0,834F_{подкнс}.$$

Затраты энергии на вертикальное ускорение грунта передней фаской консольного ножа

Передняя фаска консольного ножа не только поднимает грунт, расположенный над консольным ножом, но и придаёт ему вертикальное ускорение. Масса грунта, ускоряемого консольным ножом при разработке одного кубического метра грунта, $m_y = m_{под} = 1600 \text{ кг}$. Условная сила для создания вертикального ускорения грунта консольным ножом

$$F_{уконс} = m_y a_{верт}. \quad (11)$$

Начальная вертикальная скорость грунта равна нулю: $v_{начверт} = 0$. Скорость ковша v_k . Она направлена горизонтально. Конечную вертикальную скорость грунта определим из рисунка 2:

$$v_{конверт} = v_k \tan \alpha. \quad (12)$$

Горизонтальная проекция фаски консольного ножа $21,5 \text{ мм} = 0,0215 \text{ м}$ (см. рисунок 2). Время перемещения консольного ножа по грунту на это расстояние

$$\tau_\phi = \frac{0,0215}{v_k}. \quad (13)$$

Вертикальное ускорение грунта

$$a_{верт} = \frac{v_{конверт} - v_{начверт}}{\tau_\phi}. \quad (14)$$

Энергия, необходимая для вертикального ускорения грунта консольным ножом,

$$u_{уконс} = \frac{m_y v_{конверт}^2}{2}. \quad (15)$$

Затраты энергии на преодоление трения грунта о переднюю фаску консольного ножа

На рисунке 2 показана схема условных сил воздействия передней фаски консольного ножа на грунт в продольно-вертикальной плоскости, при разработке грунта объёмом один кубический метр. Условную силу, равную силе воздействия грунта, набегающего на переднюю фаску консольного ножа $F_{сг-кнс}$, направим по ходу ножа. Проекцию условной силы подъёма грунта консольным лезвием $F_{подпр-в}$ направим перпендикулярно проекции фаски на продольно-вертикальную плоскость. Вектор силы взят из пространственной модели [3]. Суммарное усилие для создания вертикального ускорения грунта консольным ножом $F_{уконс}$ направим вертикально.

Сложим эти силы и определим равнодействующую. Затем равнодействующую спроецируем на нормаль к фаске и определим условную нормальную реакцию фаски на воздействие грунта. Приведенная нормальная реакция передней фаски консольного ножа к расстоянию $l_{отр}$:

$$N_{фкнс} = N_{сфкнс} \frac{l_{отр}}{S_k}. \quad (16)$$

Сила трения грунта о переднюю фаску консольного ножа

$$F_{тфкнс} = f_{с-г} N_{фкнс}. \quad (17)$$

Энергия на преодоление трения грунта о переднюю фаску консольного ножа

$$u_{тфкнс} = F_{тфкнс} S_k. \quad (18)$$

Затраты энергии на преодоление трения грунта о поверхность консольного ножа

Из приведенных расчётов слой грунта от воздействия фаски консольного ножа приобретает вертикальное ускорение $a_{верт} = 61,66 \text{ м/с}^2$. Определим параметры полёта пласта грунта [27]. Представим частицу грунта материальной точкой, пущенной с фаски консольного ножа под углом к горизонту. Из уравнения $g\tau_d^2 - 2v_{конверт}\tau_d = 0 \rightarrow g\tau_d - 2v_{конверт} = 0$ определим время полёта частицы грунта, в течение которого она опустилась бы

до уровня поверхности консольного ножа
 $\tau_d = \frac{2v_{\text{конверт}}}{g}; \tau_d = \frac{2 \cdot 0,7862}{9,8} = 0,16 \text{ с.}$

За это время консольный нож преодолеет расстояние

$$s_d = v_k \tau_d; s_d = 1,686 \cdot 0,16 \approx 0,27 \text{ м} = 270 \text{ мм.}$$

Из рисунка 2 длина поверхности консольного ножа с учётом его скоса 144 мм. Поэтому грунт перелетит через консольный нож. Затраты энергии на преодоление трения грунта о поверхность консольного ножа равны нулю.

Энергия, необходимая для преодоления трения грунта о нижнюю плоскость консольного ножа

Сложим все условные вертикальные силы: F_{kz} , $F_{\text{подкз}}$, $F_{\text{уконс}}$. Совокупная условная вертикальная равнодействующая сила равна сумме этих сил

$$F_{\Sigma \text{конс}z} = F_{kz} + F_{\text{подкз}} + F_{\text{уконс}}. \quad (19)$$

Приведём условную вертикальную равнодействующую силу к расстоянию $l_{\text{отр}}$:

$$F_{\text{конс}z} = F_{\Sigma \text{конс}z} \frac{l_{\text{отр}}}{s_k}. \quad (20)$$

Силу $F_{\text{тфконс}}$ трения грунта о переднюю фаску консольного ножа следует разложить на горизонтальную и вертикальную составляющие

$$F_{\text{тфконс}x} = F_{\text{тфконс}} \cos 25^\circ. \quad (21)$$

$$F_{\text{тфконс}z} = F_{\text{тфконс}} \sin 25^\circ. \quad (22)$$

Нормальная реакция нижней плоскости консольного ножа равна сумме вертикальных сил

$$N_{\text{нпконс}} = F_{\text{конс}z} + F_{\text{тфконс}z}. \quad (23)$$

Сила трения грунта о нижнюю плоскость консольного ножа

$$F_{\text{тнпконс}} = f_{c-g} N_{\text{нпконс}}. \quad (24)$$

Энергия на преодоление трения грунта о нижнюю плоскость консольного ножа

$$u_{\text{тнпконс}} = F_{\text{тнпконс}} s_k. \quad (25)$$

Суммарные затраты энергии на перемещение консольного ножа, горизонтальная сила для перемещения консольного ножа

Составляющие затрат энергии кромки лезвия консольного ножа вычислены ранее [3]. Суммарная энергия, необходимая для резания грунта консольным ножом

$$u_{\text{конс}} = u_{\text{отрконс}} + u_{\text{щконс}} + u_{\text{ткрконс}} + u_{\text{т-конс}} + u_{\text{подконс}} + u_{\text{уконс}} + u_{\text{тфконс}} + u_{\text{тнпконс}}. \quad (26)$$

Сложив условные поперечные силы F_{ky} и $F_{\text{подку}}$, определим суммарную условную поперечную силу. Условная поперечная сила F_{ky} вычислена ранее [3].

$$F_{\Sigma \text{конс}y} = F_{ky} + F_{\text{подку}}. \quad (27)$$

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

$$F_{\text{конс}y} = F_{\Sigma \text{конс}y} \frac{l_{\text{отр}}}{s_k}. \quad (28)$$

Сложив условные горизонтальные продольные силы F_{kx} , $F_{\Sigma \text{г-конс}}$, $F_{\Sigma \text{г-конс}}$, определим суммарную условную горизонтальную силу. Условная горизонтальная сила F_{ky} вычислена ранее [3].

$$F_{\Sigma \text{конс}x} = F_{kx} + F_{\Sigma \text{г-конс}} + F_{\Sigma \text{г-конс}}. \quad (29)$$

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

$$F_{\text{конс}x} = F_{\Sigma \text{конс}x} \frac{l_{\text{отр}}}{s_k}. \quad (30)$$

Кроме этих горизонтальных сил имеются: горизонтальная сила $F_{\text{ткрконс}}$ трения кромки лезвия, горизонтальная составляющая $F_{\text{тфконс}x}$ силы трения передней фаски, $F_{\text{тнпконс}}$ сила трения нижней поверхности консольного ножа о грунт. Горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения консольного ножа, равна сумме всех горизонтальных сил

$$F_{\Sigma \text{конс}x} = F_{\text{конс}x} + F_{\text{ткрконс}} + F_{\text{тфконс}x} + F_{\text{тнпконс}}; \quad (31)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Известные результаты предыдущих расчётов [2]: ширина захвата лезвия консольного ножа $b_k = 30 \text{ мм}$, толщина консольного ножа $h_k = 10 \text{ мм} = 0,01 \text{ м}$, максимальная глубина срезаемого слоя грунта $h_{\text{сл}} = 0,25 \text{ м}$, скорость ковша $v_k = 1,686 \text{ м/с}$. Для разработки одного кубического метра грунта консольный нож должен переместиться на расстояние [3] $s_k = 133 \text{ м}^3$. Время перемещения ковша

на расстояние $s_k \tau_k = 78,885 \text{ с/м}^3$. Допустим, плотность грунта $\rho = 1600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Объём грунта, воздействующего на переднюю фаску консольного ножа в секунду (2) (см. рисунок 1):

$$\frac{V_{г-к}}{\tau_{г-к}} = 0,03 \cdot 0,25 \cdot 1,686 \approx 0,012645 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Масса грунта, воздействующего на переднюю фаску консольного ножа в секунду (3):

$$m_{г-к} = 1600 \cdot 0,012645 \approx 20,2 \text{ кг/с}.$$

Допустим, конечная горизонтальная скорость набегающего грунта $v_{кон} = 0$. Мгновенная сила набегающего грунта (4):

$$F_{г-конс} = 20,2 \cdot 1,686 \approx 34,1 \text{ Н/с}.$$

Условная сила воздействия грунта, набегающего на переднюю фаску консольного ножа, при разработке грунта объёмом один кубический метр (5):

$$F_{\Sigma г-конс} = 34,1 \cdot 78,885 \approx 2690 \text{ Н/м}^3.$$

Энергия на преодоление напора грунта на переднюю фаску консольного ножа (6):

$$u_{г-конс} = 34,1 \cdot 133 = 4535 \text{ Дж/м}^3.$$

Объём грунта, поднимаемый консольным ножом, $V_{под} = 1 \text{ м}^3$. Объёмная масса грунта $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$. Масса грунта, поднимаемого консольным ножом (7):

$$m_{под} = 1600 \cdot 1 = 1600 \text{ кг}.$$

Условная сила подъёма грунта консольным ножом (8):

$$F_{подконс} = 1600 \cdot 9,8 \approx 15680 \text{ Н/м}^3.$$

Энергия, необходимая для подъёма грунта консольным ножом (9):

$$u_{подконс} = 1600 \cdot 9,8 \cdot 0,01 \approx 157 \text{ Дж/м}^3.$$

Проекция условной силы $F_{подконс}$ (10):

$$\begin{aligned} F_{подкх} &= 0,389 \cdot 15680 = 6100 \text{ Н/м}^3; \\ F_{подку} &= 0,389 \cdot 15680 = 6100 \text{ Н/м}^3; \\ F_{подкz} &= 0,834 \cdot 15680 = 13077 \text{ Н/м}^3. \end{aligned}$$

Скорость ковша $v_k = 1,686 \text{ м/с}$. Конечная вертикальная скорость грунта (12):

$$v_{конверт} = 1,686 \cdot \tan 25^\circ = 0,7862 \text{ м/с}.$$

Время перемещения консольного ножа по грунту на это расстояние (13):

$$\tau_\phi = \frac{0,0215}{1,686} = 0,01275 \text{ с}.$$

Вертикальное ускорение грунта (14):

$$a_{верт} = \frac{0,7862-0}{0,01275} = 61,66 \text{ м/с}^2.$$

Условная сила для создания вертикального ускорения грунта консольным ножом (11):

$$F_{уконс} = 1600 \cdot 61,66 = 98656 \text{ Н/м}^3.$$

Энергия, необходимая для вертикального ускорения грунта консольным ножом (15):

$$u_{уконс} = \frac{1600 \cdot 0,7862^2}{2} \approx 494 \text{ Дж/м}^3.$$

Из рисунка 2 условная нормальная реакция фаски консольного ножа $N_{\Sigma фконс} = 93100 \text{ Н/м}^3$. Приведенная нормальная реакция передней фаски консольного ножа к расстоянию $l_{отр} = 0,018 \text{ м}$ (16):

$$N_{фконс} = 93100 \frac{0,018}{133} = 12,6 \text{ Н}.$$

Примем коэффициент трения грунта о сталь $f_{с-г} = 0,5$. Сила трения грунта о переднюю фаску консольного ножа (17):

$$F_{тфконс} = 0,5 \cdot 12,6 = 6,3 \text{ Н}.$$

Энергия на преодоление трения грунта о переднюю фаску консольного ножа (18):

$$u_{тфконс} = 6,3 \cdot 133 = 838 \text{ Дж/м}^3.$$

Условные вертикальные силы:

$$\begin{aligned} F_{кz} &= 623400 \text{ Н/м}^3 \quad F_{подкz} = 13077 \text{ Н/м}^3; \\ F_{уконс} &= 98656 \text{ Н/м}^3. \end{aligned}$$

Совокупная условная вертикальная равнодействующая сила (19):

$$\begin{aligned} F_{\Sigma консz} &= 623400 + 13077 + 98656 = \\ &= 735133 \text{ Н/м}^3. \end{aligned}$$

Приведенная вертикальная равнодействующая сила к расстоянию $l_{отр}$ (20):

$$F_{консz} = 735133 \frac{0,018}{133} = 99,5 \text{ Н}.$$

Горизонтальная составляющая силы $F_{тфконс}$ трения грунта о переднюю фаску консольного ножа (21):

$$F_{\text{тфконсх}} = 6,3 \cdot 0,906 = 5,7 \text{ Н.}$$

Вертикальная составляющая силы $F_{\text{тфконс}}$ трения грунта о переднюю фаску консольного ножа (22):

$$F_{\text{тфконсз}} = 6,3 \cdot 0,42 = 2,66 \text{ Н.}$$

Нормальная реакция нижней плоскости консольного ножа (23):

$$N_{\text{нпконс}} = 99,5 + 2,66 \approx 102 \text{ Н.}$$

Сила трения грунта о нижнюю плоскость консольного ножа (24):

$$F_{\text{тнпконс}} = 0,5 \cdot 102 \approx 52 \text{ Н.}$$

Энергия на преодоление трения грунта о нижнюю плоскость консольного ножа (25):

$$u_{\text{тнпконс}} = 52 \cdot 133 = 6916 \text{ Дж/м}^3.$$

Составляющие затрат энергии кромки лезвия консольного ножа вычислены ранее [3]. Суммарная энергия, необходимая для резания грунта консольными ножами (26):

$$\begin{aligned} u_{\text{конс}} &= 480 + 287 + 6185 + 4535 + \\ &+ 157 + 494 + 838 + 7050 = \\ &= 19892 \approx 20000 \text{ Дж/м}^3. \end{aligned}$$

Величины условных поперечных сил: $F_{\text{ку}} = 290800 \text{ Н/м}^3$ и $F_{\text{подку}} = 6100 \text{ Н/м}^3$.

Условная поперечная сила $F_{\text{ку}}$ вычислена ранее [3]. Суммарная условная поперечная сила воздействия консольного ножа на грунт (27): $F_{\text{Σконсу}} = 290800 + 6100 = 296900 \text{ Н/м}^3$.

Приведём суммарную условную поперечную силу к расстоянию $l_{\text{отр}}$ (28):

$$F_{\text{консу}} = 296900 \frac{0,018}{133} \approx 40 \text{ Н.}$$

Условные горизонтальные продольные силы: $F_{\text{кх}} = 290800 \text{ Н/м}^3$, $F_{\text{Σг-конс}} = 2690 \text{ Н/м}^3$, $F_{\text{Σг-конс}} = 6100 \text{ Н/м}^3$. Условная горизонтальная сила $F_{\text{ку}}$ воздействия на грунт кромки лезвия консольного ножа вычислена ранее [3]. Суммарная условная горизонтальная сила воздействия консольного ножа на грунт (29):

$$F_{\text{Σконсх}} = 290800 + 2690 + 6100 = 299590 \text{ Н/м}^3.$$

Приведём суммарную условную горизонтальную силу к расстоянию $l_{\text{отр}}$ (30):

$$F_{\text{консх}} = 299590 \frac{0,018}{133} = 40,5 \text{ Н.}$$

Кроме того, имеется горизонтальная сила $F_{\text{ткрконс}} = 45,7 \text{ Н}$ трения кромки лезвия, горизонтальная составляющая $F_{\text{тфконсх}} = 5,7 \text{ Н}$ силы трения передней фаски, сила $F_{\text{тнпконс}} = 53 \text{ Н}$ трения нижней поверхности консольного ножа о грунт. Горизонтальная продольная сила, необходимая для перемещения консольного ножа, равна сумме частных горизонтальных сил (31):

$$F_{\text{Σконх}} = 40,5 + 45,7 + 5,7 + 52 \approx 144 \text{ Н.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суммарная энергия, необходимая для резания грунта консольными ножами около 20 кДж/куб.м. При этом затраты энергии на взаимодействие кромок лезвий консольных ножей с грунтом около 7 тыс. Дж/куб.м, на взаимодействие фасок лезвий консольных ножей с грунтом около 6 тыс. Дж/куб.м, на преодоление трения грунта о нижнюю плоскость консольного ножа 7 тыс. Дж/куб.м. Для определения общих затрат энергии на резание грунта ковшами агрегата для удаления верхнего слоя грунта с подстилающего слоя автодороги нужно проанализировать взаимодействие с грунтом других элементов ковша.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Николаев В.А. Определение скорости цепей и размеров пласта грунта, отрезаемого ковшом агрегата для удаления верхнего слоя грунта с подстилающего слоя автодороги // Вестник СибАДИ. 2020. №1. С. 32–43.
2. Николаев В.А. Анализ взаимодействия кромки лезвия консольного ножа с грунтом // Вестник СибАДИ, 2020. №2. С. 172–181.
3. Жук А.Ф. Теоретическое обоснование рациональной технологической схемы и параметров ротационного плуга // Сборник научных трудов «Теория и расчёт почвообрабатывающих машин». 1989. Т. 120. С. 145–153.
4. Попов Г.Ф. Рабочие органы фрез // Материалы НТС ВИСХОМ. 1970. № 27. С. 490–497.
5. Карасёв Г.Н. Определение силы резания грунта с учётом упругих деформаций при разрушении // Строительные и дорожные машины, 2008. №4. С. 36–42.
6. 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.
7. Кравец И.М. Определение критической глубины резания при комбинированном резании грунтов

гидрофрезой // Строительные и дорожные машины. 2010. №5. С. 47–49.

8. 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.

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

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

11. 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.

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

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

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

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

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

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

18. 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.

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

20. Чмиль В.П. Насосно-аккумулятивный привод рыхлителя с автоматическим выбором угла резания // Строительные и дорожные машины. 2016. №11. С. 18–20.

21. 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.

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

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

24. 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.

25. 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.

26. 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.

27. Николаев В.А. Машины для обработки почвы. Теория и расчёт. Ярославль, ФГБОУ ВПО ЯГСХА, 2014. 358 с.

REFERENCES

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

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

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

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

5. Karasyev G.N. Opredelenie sily rezaniya grunta s uchyotom uprugih deformacij pri razrushenii [Determination of the ground cutting force taking into account elastic deformations during destruction]. *Construction and road machinery*. 2008; 4: 36–42. (in Russian)

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

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

8. Kirillov F.F. Determinirovannaya matematicheskaya model' vremennogo raspredeleniya tyagovogo

usiliya dlya mnogoreztsyovnykh rabochnykh organov zemlerojnykh mashin [Deterministic mathematical model of the traction force time distribution for multi-section working bodies of earthmoving machines]. *Construction and road machinery*. 2010; 11: 44–48. (in Russian)

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

10. Vershinin A.V., Subov V.S., Tyulnev A.M. Povyshenie effektivnosti diskofreznykh rabochnykh 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)

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

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

13. 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

27. Nikolayev V.A. Mashiny dlya obrabotki pochvy. Teoriya i raschyot [Machines for soil processing. Theory and calculation]. Yaroslavl, FGBOU VO YAGSKHA. 2014; 358. (in Russian)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

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

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ



PART II. TRANSPORT

ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ РЕЖИМА ТРУДА И ОТДЫХА ВОДИТЕЛЯ ПРИ ОРГАНИЗОВАННОЙ ПЕРЕВОЗКЕ ГРУПП ДЕТЕЙ В МЕЖДУГОРОДНОМ СООБЩЕНИИ

О.Е. Янучкова^{*}, М.Р. Янучков, Н.В. Якунина
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
г. Оренбург, Россия
^{*}yanuchkova.olya@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Статья посвящена описанию особенностей разработки графика движения и корректировки режима труда и отдыха водителя при организованной перевозке групп детей с учетом их возраста в междугородном сообщении. Согласно Постановлению Правительства РФ от 23.10.1993 № 1090 (ред. от 26.03.2020) «О Правилах дорожного движения» на междугородных перевозках после первых четырех часов тридцати минут непрерывного управления автомобилем водителю предоставляется специальный перерыв для отдыха от управления автомобилем в пути продолжительностью не менее 45 мин. Данный период может быть разделен на две или более части, но первая часть должна быть продолжительностью не менее 15 мин, а последняя – не менее 30 мин. В то же время дети разных возрастных групп ввиду особенностей физиологического развития по-разному воспринимают дальние поездки. Ограничение физической активности в течение длительного времени может оказывать негативное влияние на физическое и психологическое состояние детей. В процессе длительной поездки у детей могут возникнуть трудности контроля своего поведения, что может приводить к нарушению правил поездки – они отстегивают ремни безопасности, начинают ходить по салону автобуса и пр.

На основании результатов проведенного исследования процесса пассажирских перевозок детей автомобильным транспортом в междугородном сообщении были выявлены зависимости пройденного расстояния и времени в пути от возраста перевозимых детей. Полученные данные могут использоваться для разработки маршрутов и графиков движения автобусов, для корректировки режима труда и отдыха водителей, выполняющих организованную перевозку групп детей в междугородном сообщении, а также при планировании объектов транспортной инфраструктуры по популярным туристическим маршрутам или часто используемым направлениям перевозки учащихся.

Целью статьи является описание особенностей разработки графика движения и корректировки режима труда и отдыха водителя при организованной перевозке групп детей с учетом их возраста в междугородном сообщении.

Научной новизной является методика, используемая для корректировки режима труда и отдыха водителя, в основу которой положена зависимость пройденного расстояния и времени в пути в условиях пассажирских перевозок детей автобусами в междугородном сообщении и возраста перевозимых детей.

Материалы и методы. При написании данной статьи использовались методы теории пассажирских автомобильных перевозок, статистического и системного анализа, теории транспортных процессов, а также другие методы и приемы научного исследования.

Результаты. Результаты носят рекомендательный характер и предлагаются для использования при разработке графика движения и корректировке режима труда и отдыха водителя в условиях организованной перевозки групп детей с учетом их возраста в междугородном сообщении.

Обсуждение и заключение. При перевозках детей разного возраста следует выбирать схему движения, соответствующую возрастной группе перевозимых детей. В результате исследования определены 4 возрастные группы детей, каждой из которых соответствует определенное время движения и отдыха в пути.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: режим труда и отдыха водителя, график движения, пассажирские перевозки детей, междугородное сообщение, автомобильный транспорт.

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

Поступила 28.04.2020, принята к публикации 30.06.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

© Янучкова О.Е., Янучков М.Р., Якунина Н.В.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Янучкова О.Е., Янучков М.Р., Якунина Н.В. Особенности условий режима труда и отдыха водителя при организованной перевозке групп детей в междугородном сообщении. Вестник СиБАДИ. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-352-363>

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-352-363>

PARTICULARITIES OF DRIVER'S WORK AND REST SCHEDULE CONDITIONS IN ORGANIZED CHILDREN CARRIAGE IN INTERCITY CONNECTION

O. E. Ianuchkova*, M. R. Ianuchkov, N. V. Iakunina

FSBEI HE (Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education)

Orenburg State University

Orenburg, Russia

yanuchkova.olya@yandex.ru

ANNOTATION

Introduction. The article is devoted to the description of the shedule development particularities and a drivers' work and rest schedule adjustment in an organized children carriage considering their age in an intercity connection. During the interurban transportation after first four hours and thirty minutes of uninterrupted driving, a special break for the rest is provided for drivers on the way lasting at least 45 minutes. This period can be divided into two or more parts, but the first part should last at least 15 minutes and the last one at least thirty minutes. At the same time children of different age groups perceive long distant travels variously due to their physiological development. The restriction of physical activity during a long time may have a negative impact on children's physical and mental state. Children may have some problems with behavior control during long distant travels, it may lead to a travel rules violation, they remove their seat belts, start to walk around the bus, etc.

The dependencies of the covered distance and time on a children's age were identified based on the study results of the intercity children carriage process. The findings may be applied in a bus route timetables development, a drivers' work and rest schedule adjustment during an organized children carriage in an intercity connection and also when planning transport infrastructure objects along popular tourist routes or frequently used transportation directions for students.

The purpose of article is the description of a traffic schedule particularities development and a drivers' work and rest schedule adjustment in an organized children carriage considering their age in an intercity connection.

The scientific novelty lies in methodology used for a drivers' work and rest schedule adjustment which depends on a distance and travel time in an organized children carriage by buses in an intercity connection and on the age of the carried children.

Materials and techniques. While writing the article the methods of a passengers carriage theory, a statistical and systematic analysis, a transport process theory and also some other scientific methods and techniques were used.

Results. The results have advisory nature and are proposed for use in a drivers' work and rest schedule adjustment in an organized children carriage considering their age in an intercity connection.

Discussion and conclusion. For the carriage of different aged children the scheme of traffic according to a children age group should be chosen. 4 age groups of children each of which correspond to a certain traffic and rest time on the way were identified during the study.

KEY WORDS: drivers' work and rest schedule, schedule, children carriage, intercity connection, road transport

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

Submitted 28.04.2020, revised 30.06.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

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

For citation: Ianuchkova O. E., Ianuchkov M. R., Iakunina N. V. Particularities of driver's work and rest schedule conditions in organized children carriage in intercity connection. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-352-363>

© Ianuchkova O. E., Ianuchkov M. R., Iakunina N. V.



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

ВВЕДЕНИЕ

Работа водителя – это деятельность с высоким уровнем опасности. Центральное место в ее организации занимает режим труда и отдыха водителей. Основными документами, регламентирующими правовые основы данной деятельности, являются:

- ТК РФ от 30.12. 2001 № 197 – ФЗ, Статья 329. «Рабочее время и время отдыха работников, труд которых непосредственно связан с движением транспортных средств», в которой описываются особенности режима рабочего времени и времени отдыха, условий труда отдельных категорий работников, труд которых непосредственно связан с движением транспортных средств.

- Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 № 1090 (ред. От 26.03.2020) «О Правилах дорожного движения». В постановлении указаны ПДД РФ, пункт 26.1 Нормы времени управления транспортным средством и отдыха, который регламентирует действия водителя во время поездки: не позднее 4 ч 30 мин с момента начала управления транспортным средством или с момента начала очередного периода управления транспортным средством водитель обязан сделать перерыв для отдыха от управления транспортным средством продолжительностью не менее 45 мин, после которого этим водителем может быть начат очередной период управления транспортным средством. Указанный перерыв для отдыха может быть разделен на 2 части или более, первая из которых должна составлять не менее 15 мин, а последняя – не менее 30 мин.

- Федеральный закон «О безопасности дорожного движения» от 10.12.1995 № 196-ФЗ определяет правовые основы обеспечения безопасности дорожного движения на территории Российской Федерации. Рассматриваются вопросы охраны жизни, здоровья и имущества граждан, защиты их прав и законных интересов, а также защиты интересов общества и государства путем предупреждения дорожно-транспортных происшествий, снижения тяжести их последствий.

- Постановление Правительства РФ от 30.03.2019 № 382 «О категориях, оснащаемых тахографами транспортных средств, осуществляющих регулярные перевозки пассажиров, а также видах сообщения, в которых осуществляются такие перевозки транспортными средствами указанных категорий». Устанавливает требование о том, что тахографами должны оснащаться транспортные средства (автобусы), имеющие более 8 мест для сиде-

ния (категории М2 и М3), осуществляющие регулярные перевозки пассажиров в городском, пригородном и междугородном сообщении.

- «Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях» от 30.12.2001 № 195-ФЗ. В главе 11 подробно представлены административные правонарушения на транспорте.

- Приказ Минтранса России от 20.08.2004 № 15 «Об утверждении Положения об особенностях режима рабочего времени и времени отдыха водителей автомобилей». Согласно Приказу предусмотрены следующие нормы труда и отдыха водителей: нормальная продолжительность рабочего времени водителей не может превышать 40 ч в неделю. Для водителей, работающих по календарю пятидневной рабочей недели с двумя выходными днями, нормальная продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать 8 ч, а для работающих по календарю шестидневной рабочей недели с одним выходным днем – 7 ч. В случае когда при осуществлении междугородной перевозки водителю необходимо дать возможность доехать до соответствующего места отдыха, продолжительность ежедневной работы (смены) может быть увеличена до 12 ч. На междугородных перевозках после первых четырех часов непрерывного управления автомобилем водителю предоставляется специальный перерыв для отдыха от управления автомобилем в пути продолжительностью не менее 15 мин, в дальнейшем перерывы такой продолжительности предусматриваются не более чем через каждые 2 ч. В том случае, когда время предоставления специального перерыва совпадает со временем предоставления перерыва для отдыха и питания, специальный перерыв не предоставляется.

В данной статье мы рассматриваем режим труда и отдыха водителей в условиях организованной перевозки групп детей в междугородном сообщении. Под организованной перевозкой группы детей понимается перевозка в автобусе, не относящемся к маршрутному транспортному средству, группы детей численностью 8 и более человек, осуществляемая без их законных представителей, за исключением случая, когда законные представители являются назначенными сопровождающими или назначенным медицинским работником.

Организаторы пассажирских перевозок групп детей должны придерживаться правовых нормативов и требований по допуску водителей и транспортных средств к участию в перевозке.

Кроме нормативных документов, вопросы организации перевозок пассажиров и обеспечения безопасности движения представлены в ряде научных трудов. Изучению практических и теоретических аспектов по данной тематике посвящены работы: А.В. Вельможина, П.П. Володькина, В.А. Гудкова¹, Л.Б. Миротина, С.М. Мочалина, И.В. Спирина, Н.В. Якуниной, Н.Н. Якунина и др. [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Контроль режима труда и отдыха водителей, применения тахографического оборудования рассмотрен в работах А.А. Ледовского, Д.Ю. Жданова, Д.А. Дрючина², Л.М. Рогожниковой³ и др. [7, 8, 9, 10, 11].

В работах В.А. Молодцова, А.А. Раюшкиной, Н.М. Сиволобова, С.А. Ширяева, Н.С. Поготовкиной, О.Е. Янучковой [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25] проанализированы отечественные и зарубежные системы государственного регулирования перевозок детей, раскрыты актуальные проблемы этой области, а также представлены некоторые методы построения маршрутов при перевозке детей.

Цель исследования – совершенствование организации режима труда и отдыха водителя в условиях организованной перевозки групп детей в междугородном сообщении с учетом их возраста.

Задачи исследования:

1. Обзор основных документов, регламентирующих правовые основы режима труда и отдыха водителей и научных трудов, посвященных данному вопросу.

2. Корректировка режима труда и отдыха водителя в условиях организованной перевозки групп детей в междугородном сообщении с учетом их возраста (на основе полученных экспериментальных данных).

3. Разработка рекомендаций для определения графика движения и корректировки режима труда и отдыха водителя при организованной перевозке групп детей с учетом их возраста в междугородном сообщении.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основе статьи используются результаты проведенного исследования процесса организации перевозки детей различных возрастных групп⁴⁵.

Ниже представлены схемы распределения интервалов движения и отдыха водителей согласно действующему законодательству.

Схема распределения интервалов движения и отдыха водителей согласно Приказу Минтранса России от 20.08.2004 № 15 «Об утверждении Положения об особенностях режима рабочего времени и времени отдыха водителей автомобилей» (рисунок 1).

Время в пути 4 ч	Остановка для отдыха 30–60 мин (обед)	Время в пути 2 ч	Остановка для отдыха 15 мин	Время в пути 2 ч	Остановка для отдыха 15 мин	Время в пути 2 ч
---------------------	--	---------------------	--------------------------------	---------------------	--------------------------------	---------------------

Рисунок 1 – Схема распределения интервалов движения и отдыха водителей

Picture 1 – Intervals allocation scheme between drivers movement and rest

¹ Гудков В.А., Миротин Л.Б., Вельможин А.В., Ширяев С.А., Гудков Д.В. Пассажирские автомобильные перевозки: учебное пособие. Допущено УМО по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов / Москва, 2015.

² Дрючин Д.А., Фаттахова А.Ф. К вопросу о возможности применения показаний тахографов по определению мест расположения стоянок для отдыха водителей междугородних перевозок // В сборнике: Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Международной научно-технической конференции. 2017. С. 159–161

³ Рогожникова Л.М., Сучкова О.А. Анализ влияния внедрения тахографического контроля на безопасность дорожного движения // В сборнике: Управление качеством в транспортной и социальной сферах. Сборник научных трудов транспортного факультета по материалам XLI студенческой научной конференции ОГУ; под редакцией В.И. Рассохи. 2019. С. 134–138.

⁴ Янучкова О.Е., Якунина Н.В. Повышение безопасности процесса перевозок организованных групп детей автобусами с учетом возрастных особенностей // Наука сегодня: факты, тенденции, прогнозы: материалы Международной научно-практической конференции. Вологда: ООО «Маркер», 2017. С. 57–59.

⁵ Янучкова О.Е., Якунина Н.В. Методика исследования процесса пассажирских перевозок детей автомобильным транспортом (автобусами) в междугородном сообщении с учетом возрастных особенностей // Сборник статей. Прогрессивные технологии в транспортных системах. XIII Международная научно-практическая конференция. Оренбург, 2017. С. 315–317.

Схема распределения интервалов движения и отдыха водителей согласно Постановлению Правительства РФ от 23.10.1993 №1090 (ред. от 26.03.2020) «О Правилах дорожного движения»; ПДД РФ, пункт 26.1 Нормы времени управления транспортным средством и отдыха (рисунок 2).

Время в пути 4,5 ч	Остановка для отдыха 45 мин	Время в пути 4,5 ч
-----------------------	--------------------------------	-----------------------

Рисунок 2 – Схема распределения интервалов движения и отдыха водителей

Picture 2 – Intervals allocation scheme between drivers movement and rest

Вместе с тем при перевозке детей график движения транспортного средства должен соответствовать рекомендованным интервалам движения и отдыха, полученным в результате экспериментального исследования, и учитывать возрастную группу пассажиров (рисунок 3).

Время в пути $t_{дв1}$	Остановка для отдыха $t_{отд1}$	Время в пути $t_{дв2}$	Остановка для отдыха $t_{отд2}$	Время в пути $t_{дв3}$	Остановка для отдыха $t_{отд3}$	Время в пути $t_{двi}$	Остановка для отдыха $t_{отдi}$
---------------------------	------------------------------------	---------------------------	------------------------------------	---------------------------	------------------------------------	---------------------------	------------------------------------

Рисунок 3 – Схема распределения интервалов движения и отдыха детей

Picture 3 – Intervals allocation scheme between children movement and rest

В ходе экспериментального исследования были определены значения времени и расстояния для перевозки, которые представлены в схемах распределения интервалов движения и отдыха детей по возрастным группам. В ходе исследования установлено, что для каждой возрастной группы существует свое допустимое время движения $\sum t_{дв i}$ и время отдыха $\sum t_{отд i}$. Вместе с тем представлены параметры, которые характеризуют состояние и развитие процессов, возникающих при перевозке детей – время нахождения в пути, количество остановок, длительность остановок, интервальность движения и т.д.; выявлены закономерности, влияющие на перевозочный процесс при организованной перевозке групп детей в междугородном сообщении.

Детские перевозки достаточно популярны в работе туристических операторов страны, т.к. каждый родитель желает, чтобы его ребенок расширил кругозор, укрепил здоровье и раскрыл свои таланты, но далеко не все ввиду различного рода занятости могут сопровождать своего ребенка в поездке. По утвержде-

ниям туристических операторов наибольшим спросом отмечена перевозка детей школьного возраста в междугородном сообщении. Соответственно, выборка исследуемых состояла из детей школьного возраста и представлена следующими возрастными группами: младшие школьники, средние школьники, старшие школьники.

Анкетирование проводилось в школах г. Оренбурга, в нем принимали участие родители, законные представители школьников в возрасте от 7 до 17 лет.

Обработка полученных результатов показала прямую зависимость между возрастом исследуемых и количеством остановок в пути. Для установления данной зависимости определено общее расстояние поездки в каждой возрастной группе, общее количество остановок в каждой возрастной группе, получены значения среднего расстояния до остановки в каждой возрастной группе.

Опытные зависимости пройденного расстояния и времени в пути от возраста испытуемых представлены на рисунке 4, 5.

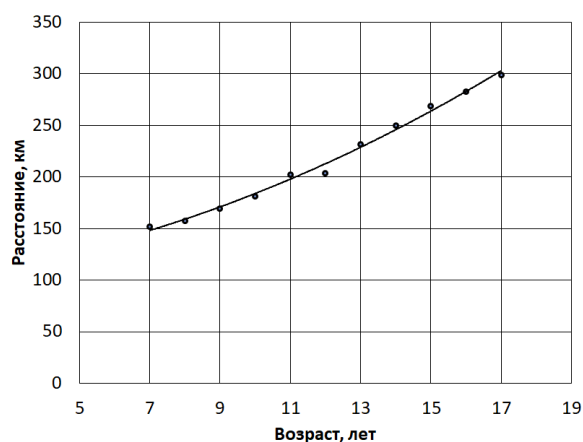


Рисунок 4 – Опытная зависимость пройденного расстояния от возраста испытуемых

Picture 4 – Experienced dependence of a covered distance on the age of the tested people

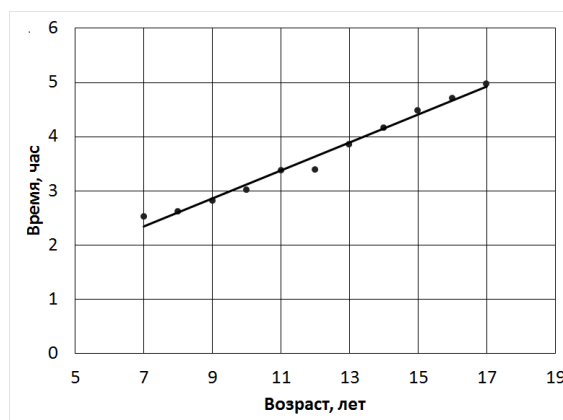


Рисунок 5 – Опытная зависимость времени в пути от возраста испытуемых

Picture 5 – Experienced dependence of the time on the way on the age of the tested people

Опытные данные аппроксимированы полиномиальной функцией второй степени и представлены в виде зависимостей 1, 2 (таблица).

Таблица
Аппроксимация опытных данных

Table
The approximation of empirical evidence

Показатель	Формула	Номер формулы
Пройденное расстояние от возраста испытуемых	$y = 0,5096x^2 + 3,2488x + 100,56$ $R^2 = 0,9928$	(1)
Время в пути от возраста испытуемых	$y = 0,0083x^2 + 0,0588x + 1,6443$ $R^2 = 0,9927$	(2)

Опытные зависимости среднего времени остановки в пути от возраста испытуемых представлены на рисунке 6.

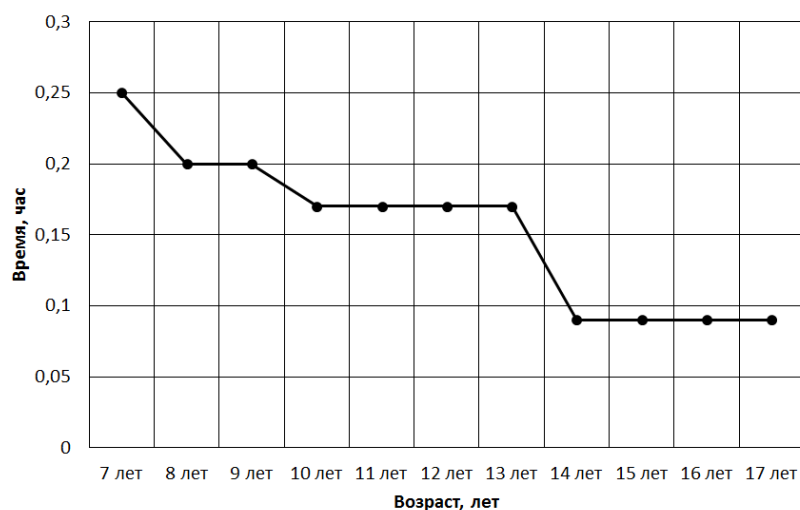


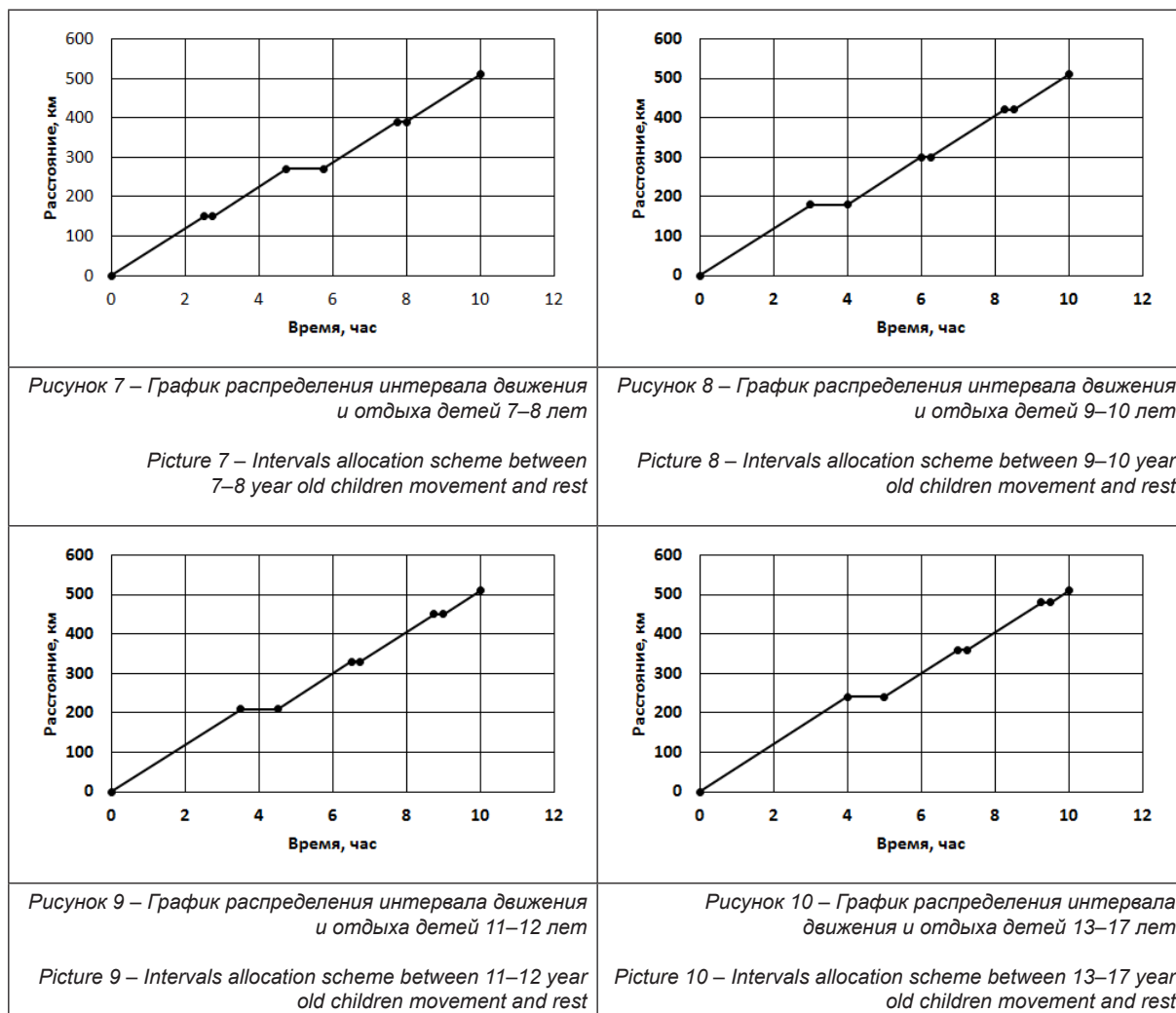
Рисунок 6 – Опытные зависимости среднего времени остановки в пути от возраста испытуемых

Picture 6 – Experienced dependencies of average stopping time on the way on the age of the tested people

Средний показатель времени остановки по всем возрастным группам составляет 0,25 ч.

Полученные результаты экспериментального исследования позволили определить зависимость интервалов движения и отдыха детей по возрастным группам. Определены 4 возрастные группы: 7–8 лет, 9–10 лет, 11–12 лет, 13–17 лет.

Графики распределения интервалов движения и отдыха детей в условиях организованной перевозки автобусами в междугородном сообщении по определенным возрастным группам представлены на рисунках 7–10.



Пример распределения интервалов движения и отдыха детей по возрастным группам при 9-часовом рабочем дне водителя представлены на рисунках 11–14.

Время в пути 2,5	Остановка для отдыха 0,25	Время в пути 2	Остановка для отдыха 1 ч	Время в пути 2	Остановка для отдыха 0,25	Время в пути 2
---------------------	---------------------------------	----------------------	--------------------------------	----------------------	---------------------------------	----------------------

Рисунок 11 – Распределение интервалов движения и отдыха детей 7–8 лет

Picture 11 – Intervals allocation scheme between 7–8 year old children movement and rest

Время в пути 3	Остановка для отдыха 1 ч	Время в пути 2	Остановка для отдыха 0,25	Время в пути 2	Остановка для отдыха 0,25	Время в пути 1,5
-------------------	--------------------------------	----------------------	---------------------------------	----------------------	---------------------------------	------------------------

Рисунок 12 – Распределение интервалов движения и отдыха детей 9–10 лет

Picture 12 – Intervals allocation scheme between 9–10 year old children movement and rest

Время в пути 3,5	Остановка для отдыха 1 ч	Время в пути 2	Остановка для отдыха 0,25	Время в пути 2	Остановка для отдыха 0,25	Время в пути 1
---------------------	--------------------------------	----------------------	---------------------------------	----------------------	---------------------------------	----------------------

Рисунок 13 – Распределение интервалов движения и отдыха детей 11–12 лет

Picture 13 – Intervals allocation scheme between 11–12 year old children movement and rest

Время в пути 4	Остановка для отдыха 1 ч	Время в пути 2	Остановка для отдыха 0,25	Время в пути 2	Остановка для отдыха 0,25	Время в пути 0,5
-------------------	--------------------------------	----------------------	---------------------------------	----------------------	---------------------------------	------------------------

Рисунок 14 – Распределение интервалов движения и отдыха детей 13–17 лет

Picture 14 – Intervals allocation scheme between 13–17 year old children movement and

Согласно Приказу Министерства Транспорта Российской Федерации от 8 января 1997 г. № 2 (в ред. Приказа Минтранса РФ от 18.07.2000 № 75) пункт 5.18 перевозка детей автобусами должна осуществляться в светлое время суток с включенным ближним светом фар. Скорость движения выбирается водителем (а при сопровождении – старшим по его обеспечению) в зависимости от дорожных, метеорологических и других условий, но при этом скорость не должна превышать 60 км/ч. Соответственно, максимальное расстояние при 9-часовом рабочем графике водителя составляет 510 км.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования нами получены закономерности пройденного расстояния и времени нахождения в пути от возраста испытуемых. Определены 4 возрастные группы школьников: 7–8 лет, 9–10 лет, 11–12 лет, 13–17 лет. Каждой возрастной группе соответствует определенное время в пути до первой остановки. Так, например, при перевозке детей 7–8 лет рекомендованное время в пути до первой остановки составляет 2 ч 30 мин, при перевозке детей 9–10 лет рекомендованное время в пути до первой остановки составляет 3 ч, при перевозке детей 11–12 лет рекомендованное время в пути до первой остановки составляет 3 ч 30 мин, а при перевозке детей 13–17 лет режим движения и отдыха детей соответствует режиму труда и отдыха водителя. Полученные результаты рекомендует-

ся использовать при корректировке режима труда и отдыха водителей, осуществляющих организованную перевозку групп детей в междугородном сообщении, при планировании объектов транспортной инфраструктуры, а также полученные полиномиальные зависимости могут использоваться для формирования модели распределения интервалов движения и отдыха в условиях организованной перевозки групп детей в междугородном сообщении.

Таким образом, доказана актуальность исследования – режим труда и отдыха водителей отличается от интервалов движения и отдыха детей, участвующих в перевозке при дальних поездках и необходима корректировка движения с учётом возраста детей.

Исследования показали, каким образом необходимо корректировать движение автобуса в междугородном сообщении при перевозке групп детей. При перевозках детей разного возраста следует выбирать схему движения, соответствующую возрастной группе перевозимых детей.

Получены следующие выводы по работе:

1) Анализ основных документов, регламентирующих правовые основы режима труда и отдыха водителей и научных трудов, посвященных данному вопросу.

2) Проведена корректировка режима труда и отдыха водителя в условиях организованной перевозки групп детей в междугородном сообщении с учетом их возраста на основе ранее полученных экспериментальных данных.

3) Разработка рекомендаций по каждой возрастной группе школьников для определения графика движения и корректировки режима труда и отдыха водителя при перевозке детей в междугородном сообщении.

4) Описанные в статье результаты могут быть практически применены при разработке графика движения и отдыха в условиях организованных пассажирских перевозок детей автомобильным транспортом в междугородном сообщении.

Содержание представленных выводов позволяет сделать заключение о том, что цель работы, обозначенная как совершенствование организации режима труда и отдыха водителя в условиях организованной перевозки групп детей в междугородном сообщении с учетом их возраста, достигнута.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Володькин П.П., Поготовкина Н.С., Демахина Е.С. Исследование системы организации перевозок школьников в Приморском крае. Автотранспортное предприятие. 2016. № 2. С. 29–31.
2. Мочалин С.М., Каспер М.Е. Выбор метода оценки результативности функционирования комплексных систем в теории пассажирских автомобильных перевозок. Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2018. Т. 15. № 1 (59). С. 60–69.
3. Спирин И.В., Беляев В.М., Антонова В.В. Методология планирования автомобильных пассажирских перевозок. Мир транспорта. 2019. Т. 17. № 1 (80). С. 20–37.
4. Якунина Н.В., Якунин Н.Н. Методология повышения качества перевозок пассажиров автомобильным транспортом по регулярным маршрутам : монография. Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. – 289 с.
5. Миннебаев Р.Х. Некоторые вопросы правоприменения в области автомобильных пассажирских перевозок. Вестник Казанского юридического института МВД России. 2018. № 3 (33). С. 342–347.
6. Андреев К.П., Бышов Н.В., Борычев С.Н., Горячкина И.Н., Коннычева Н.А., Мартынушкин А.Б., Мелькумова Т.В., Терентьев В.В., Шемякин А.В., Федоскина И.В. Экономическое обоснование эффективности и качества пассажирских перевозок автомобильным транспортом : монография. Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. Курск, 2019. – 129 с.
7. Ледовский А.А., Филатов С.А., Дубровская Е.И. Анализ практики контроля соблюдения режима труда и отдыха водителей при автомобильных перевозках с использованием средств бортовой телематики // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2018. № 3 (54). С. 107–114.
8. Жданов Д.Ю., Моисеев Ю.И. Режим труда и отдыха водителя. NovalInfo.Ru. 2017. Т. 1. № 60. С. 464–467.
9. Власов В.М., Богумил В.Н., Ефименко Д.Б., Конин И.В. Разработка основных принципов и алгоритмов учета и контроля режимов труда и отдыха водителей автотранспортных средств на основе использования автоматической видеоидентификации и спутниковой навигации // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2014. № 2 (37). С. 71–76.
10. Исмаилов А.Р., Конин И.В. Метод учета времени труда и отдыха водителей транспортных средств городского пассажирского транспорта на основе обработки навигационных данных диспетчерских систем // Автотранспортное предприятие. 2013. № 12. С. 42–46.
11. Фадеев Д.С., Волковский В.В. Особенности организации труда водителей и оценка их влияния на эффективность работы предприятия // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 1 (108). С. 143–152.
12. Гуськов А.А., Молодцов В.А. Организация перевозок детей школьными автобусами // Автотранспортное предприятие. 2015. № 10. С. 14–17.
13. Сиволобов Н.М., Ширяев С.А., Гудков В.А., Раюшкина А.А. Государственное регулирование обеспечения безопасности школьных перевозок у нас в стране и за рубежом // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. 2013. Т. 6. № 10 (113). С. 82–85.
14. Ширяев С.А., Раюшкина А.А., Сиволобов Н.М. Организационно-технологические проблемы перевозок школьников // Автомобильная промышленность. 2014. № 5. С. 22–25.
15. Ширяев С.А., Раюшкина А.А., Дулина Н.В., Сиволобов Н.М. Система школьных перевозок: опыт, оценка, тенденции развития // Автомобильная промышленность. 2015. № 10. С. 28–32.
16. Ширяев С.А., Раюшкина А.А., Сиволобов Н.М., Поляк А.М. Подходы к разработке методики определения рационального маршрута перевозок школьников к местам обучения в сельской местности при помощи программного обеспечения // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2014. № 2 (62). 45 с.
17. Pogotovkina N.S., Ugay S.M., Demakhina E.S., Volodkin P.P. Problems of the organization and safety ensuring of school children busing in the russian federation (primorsky region). International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Т. 11. № 8. С. 5530–5535.
18. Pogotovkina N.S., Demakhina E.S., Volodkin P.P. Improving the safety of transportation by school buses. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2019. С. 032098.
19. Янучкова, О. Е., Янучков М. Р., Якунина Н. В. Организация процесса пассажирских перевозок детей автомобильным транспортом (автобусами)

в междугородном сообщении с учетом возрастных особенностей // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета, 2019. Т. 16, № 3 (67). С. 312–322. 11 с.

20. Moskaleva N.B., Smorchkova V.I. Government provision of drivers' high qualification as a guarantee of safety on Russian roads // Государственная служба. 2019. Т. 21. № 3 (119). С. 95–100.

21. School health guidelines to prevent unintentional injuries and violence. MMWR: Morbidity & Mortality Weekly Report. 2001. Т. 50. № RR-22. С. 1–73.

22. Evers, C. Commentary on an evaluation of distance estimation accuracy and its relationship to transportation mode for the home-to-school journey by adolescents // C.R. Evers, D. Johnson-Shelton // Journal of Transport & Health, Volume 1, Issue 4, December 2014, Pages 279–281.

23. Voss, C. School-travel by public transit: Rethinking active transportation / C. Voss, M. Winters, A. Frazer, H. McKay // Preventive Medicine Reports, Volume 2, 2015, Pages 65–70.

24. Yeung, J. Child transport practices and perceived barriers in active commuting to school / J. Yeung, S. Wearing, A.P. Hills // Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 42, Issue 6, July 2008, Pages 895–900.

25. McDonald, N. Assessing multimodal school travel safety in North Carolina / N.C. McDonald, A.B. McGrane, E.A. Rodgman, R.L. Steiner, W.M. Palmer, B.F. Lytle // Accident Analysis & Prevention, Volume 74, January 2015, Pages 126–132.

REFERENCES

1. Volod'kin P.P., Pogotovkina N.S., Demahina E.S. Issledovanie sistemy organizatsii perevozk shkol'nikov v Primorskom Krae [Study of the schoolchildren transport system in Primorsky Krai]. *Avtotransportnoe predpriyatie*. 2016; 2: 29–31. (in Russian)

2. Mochalin S.M., Kasper M.E. Vybor metoda ocenki rezul'tativnosti funkcionirovaniya kompleksnykh sistem v teorii passazhirskikh avtomobil'nykh perevozk [Selection of the results evaluation method for complex systems functioning in a passenger road transport theory]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*. 2018; 15, 1 (59): 60–69. (in Russian)

3. Spirin I.V., Belyaev V.M., Antonova V.V. Metodologiya planirovaniya avtomobil'nykh passazhirskikh perevozk [Road passenger transport planning methodology]. *Mir transporta*. 2019; 17, 1 (80): 20–37. (in Russian)

4. YAkunina N.V., YAkunin N.N. Metodologiya povysheniya kachestva perevozk passazhirov avtomobil'nym transportom po regul'yarnym marshrutam: monografiya [Methodology for improving quality of passenger carriages by road transport on regular routes, monograph]. Orenburg: OOO IPK «Universitet». 2013. 289. (in Russian)

5. Minnebaev R.H. Nekotorye voprosy pravoprimereniya v oblasti avtomobil'nykh passazhirskikh perevozk [Some issues of law enforcement in road

passenger transport area] *Vestnik Kazanskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii*. 2018; 3(33): 342–347. (in Russian)

6. Andreev K.P., Byshov N.V., Borychev S.N., Goryachkina I.N., Konycheva N.A., Martynushkin A.B., Mel'kumova T.V., Terent'ev V.V., SHemyakin A.V., Fedoskina I.V. Ekonomicheskoe obosnovanie effektivnosti i kachestva passazhirskikh perevozk avtomobil'nym transportom: monografiya [Business case for efficiency and quality of road passenger transport: monograph]. Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet im. Kursk, 2019. 129. (in Russian)

7. Ledovskij A.A., Filatov S.A., Dubrovskaya E.I. Analiz praktiki kontrolya soblyudeniya rezhima truda i otdyha voditelej pri avtomobil'nykh perevozkah s ispol'zovaniem sredstv bortovoj telematiki [Analysis of practice monitoring implementation of labour and rest schedule for drivers in road transport using on-board telematics]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*. 2018; 3 (54): 107–114. (in Russian)

8. ZHDanov D.YU., Moiseev YU.I. Rezhim truda i otdyha voditelya [Driver work and rest schedule]. *NovalInfo.Ru*. 2017; 1. (60): 464–467. (in Russian)

9. Vlasov V.M., Bogumil V.N., Efimenko D.B., Konin I.V. Razrabotka osnovnykh principov i algoritmov ucheta i kontrolya rezhimov truda i otdyha voditelej avtotransportnykh sredstv na osnove ispol'zovaniya avtomaticheskoy videoidentifikatsii i sputnikovoj navigatsii [Development of basic principles and algorithms for the recording and control of drivers work and rest schedule in motor vehicles using automatic video identification and satellite navigation]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*. 2014; 2 (37): 71–76. (in Russian)

10. Ismailov A.R., Konin I.V. Metod ucheta vremeni truda i otdyha voditelej transportnykh sredstv gorodskogo passazhirskogo transporta na osnove obrabotki navigatsionnykh dannykh dispetcherskikh sistem [A method for recording drivers work and rest time in urban passenger vehicles based on the navigation data of dispatch systems]. *Avtotransportnoe predpriyatie*. 2013; 12: 42–46. (in Russian)

11. Fadeev D.S., Volkovskij V.V. Osobennosti organizatsii truda voditelej i ocenka ih vliyaniya na effektivnost' raboty predpriyatiya [Characteristics of the drivers work organization and their impact on the efficiency of the enterprise]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2016; 1 (108): 143–152. (in Russian)

12. Gus'kov A.A., Molodcov V.A. Organizatsiya perevozk detej shkol'nymi avtobusami [Children transportation organization by school bus]. *Avtotransportnoe predpriyatie*. 2015; 10: 14–17. (in Russian)

13. Sivolobov N.M., SHiryaev S.A., Gudkov V.A., Rayushkina A.A. Gosudarstvennoe regulirovanie obespecheniya bezopasnosti shkol'nykh perevozk u nas v strane i za rubezhom [State regulation of school

transport safety in our country and abroad]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnye transportnye sistemy*. 2013; 6; 10 (113): 82–85. (in Russian)

14. SHiryayev S.A., Rayushkina A.A., Sivolobov N.M. Organizacionno-tekhnologicheskie problemy perevozok shkol'nikov [Organizational and technological issues of schoolchildren transportation]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2014; 5: 22–25. (in Russian)

15. SHiryayev S.A., Rayushkina A.A., Dulina N.V., Sivolobov N.M. Sistema shkol'nyh perevozok: opyt, ocenka, tendencii razvitiya [School transport system: experience, assessment, development trends]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2015; 10: 28–32. (in Russian)

16. SHiryayev S.A., Rayushkina A.A., Sivolobov N.M., Polyak A.M. Podhody k razrabotke metodiki opredeleniya racional'nogo marshruta perevozok shkol'nikov k mestam obucheniya v sel'skoj mestnosti pri pomoshchi programmogo obespecheniya [Approaches to the development of a methodology for the rational schoolchildren transportation to rural areas by means of software]. *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami: elektronnyj nauchnyj zhurnal*. 2014; 2 (62): 45. (in Russian)

17. Pogotovkina N.S., Ugay S.M., Demakhina E.S., Volodkin P.P. Problems of the organization and safety ensuring of school children busing in the russian federation (primorsky region). *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016; 11(8): 5530–5535.

18. Pogotovkina N.S., Demakhina E.S., Volodkin P.P. Improving the safety of transportation by school buses. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2019. C. 032098.

19. YAnuchkova, O. E., YAnuchkov M. R., YAkunina N. V. Organizaciya processa passazhirskih perevozok detej avtomobil'nyim transportom (avtobusami) v mezhdugorodnom soobshchenii s uchetoм vоzrastnyh osobennostej [Organization of children transportation by road (buses) in intercity connection considering age-specific characteristics]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*. 2019; 16; 3 (67): 312–322. (in Russian)

20. Moskaleva N.B., Smorchkova V.I. Government provision of drivers' high qualification as a guarantee of safety on russian roads. *Gosudarstvennaya sluzhba*. 2019; 21; 3 (119): 95–100. (in Russian)

21. School health guidelines to prevent unintentional injuries and violence. *MMWR: Morbidity & Mortality Weekly Report*. 2001; 50 (RR-22): 1–73.

22. Evers, C. Commentary on an evaluation of distance estimation accuracy and its relationship to transportation mode for the home-to-school journey by adolescents // C.R. Evers, D. Johnson-Shelton // *Journal of Transport & Health*. 2014; 1, (4): 279–281.

23. Voss, C. School-travel by public transit: Rethinking active transportation / C. Voss, M. Winters, A. Frazer, H. McKay. *Preventive Medicine Reports*. 2015; 2: 65–70.

24. Yeung, J. Child transport practices and perceived barriers in active commuting to school / J. Yeung, S. Wearing, A.P. Hills. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2008; 42(6): 895–900.

25. McDonald, N. Assessing multimodal school travel safety in North Carolina / N.C. McDonald, A.B. McGrane, E.A. Rodgman, R.L. Steiner, W.M. Palmer, B.F. Lytle. *Accident Analysis & Prevention*. 2015; 74: 126–132.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Янучкова Ольга Евгеньевна – аспирант кафедры автомобильного транспорта, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», ORCID ID 0000-0003-3250-6703 (460018, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13, e-mail: yanuchkova.olya@yandex.ru).

Янучков Михаил Романович – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», ORCID ID 0000-0001-7277-7511, ResearcherID F-3212-2019, (460018, г. Оренбург, пр. Победы, д.13, e-mail: msi80@mail.ru).

Якунина Наталья Владимировна – д-р техн. наук, доц., проф. кафедры автомобильного транспорта, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» ORCID ID 0000-0002-8952-2694 (460018, г. Оренбург, пр. Победы, д.13, e-mail: nat.yakunina56@yandex.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olga E. Ianuchkova, a graduate student of the Motor Transport Department, FSBEI HE Orenburg State University, ORCID ID 0000-0003-3250-6703 (460018, Orenburg, Pobeda Avenue, 13, e-mail: yanuchkova.olya@yandex.ru)

Mikhail R. Ianuchkov, Cand. of Sci., senior lecturer of the Motor Transport Department, FSBEI HE Orenburg State University, ORCID ID 0000-0001-7277-7511, ResearcherID F-3212-2019, (460018, Orenburg, Pobeda Avenue, 13, e-mail: msi80@mail.ru)

Natalya V. Yakunina, Dr. of Sci., Associate Professor, Professor of the Motor Transport Department, FSBEI HE Orenburg State University. ORCID ID 0000-0002-8952-2694 (460018, Orenburg, Pobeda Avenue, 13, e-mail: nat.yakunina56@yandex.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Янучкова Ольга Евгеньевна. Вклад в общую работу составил 33%, что является 1/3 доли при разработке следующих разделов научной статьи: аннотации, введения, материалов и методов, результатов, обсуждения и заключения.

Янучков Михаил Романович. Вклад в общую работу составил 33%, что является 1/3 доли при разработке следующих разделов научной статьи: аннотации, введения, материалов и методов, результатов, обсуждения и заключения.

Якунина Наталья Владимировна. Вклад в общую работу составил 33%, что является 1/3 доли

при разработке следующих разделов научной статьи: аннотации, введения, материалов и методов, результатов, обсуждения и заключения.

AUTHORS CONTRIBUTION

Olga E. Ianuchkova – the contribution to the overall work is 33%, it is 1/3 share in developing the following sections of the scientific article: the abstract, introduction, materials and techniques, results, discussion and conclusion.

Mihail R. Ianuchkov– the contribution to the overall work is 33%, it is 1/3 share in developing the following sections of the scientific article: the abstract, introduction, materials and techniques, results, discussion and conclusion.

Natalya V. Iakunina– the contribution to the overall work is 33%, it is 1/3 share in developing the following sections of the scientific article: the abstract, introduction, materials and techniques, results, discussion and conclusion.

УДК 621.867.61

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-364-373>

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ПАЛЛЕТЫ ПО ТОРМОЗНОМУ РОЛИКУ МАГНИТНОГО ТИПА

И.А. Шарифуллин, А.Л. Носко, Е.В. Сафронов

МГТУ им. Н.Э. Баумана,

г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Одним из основных элементов безопасной эксплуатации гравитационных роликовых конвейеров, применяемых в стеллажах для паллет, является тормозной ролик. Наиболее перспективной конструкцией является тормозной ролик магнитного (вихретокового) типа. Принцип работы таких роликов основан на законах электромагнитной индукции и предполагает торможение движущегося в магнитном поле проводника, обусловленное взаимодействием возникающих в объеме проводника вихревых токов (или токов Фуко) с внешним магнитным полем. Однако на рынке складского стеллажного оборудования тормозные магнитные ролики не нашли широкого применения ввиду своей высокой стоимости, которая в первую очередь обусловлена отсутствием отечественных конструкций и методик их расчета. Цель данной работы – разработка математической модели процесса движения паллеты по тормозному ролику магнитного типа.

Материалы и методы. В статье представлены результаты теоретического исследования по разработке математической модели процесса движения паллеты по тормозному ролику магнитного типа, изложенные в работах по центробежным фрикционным роликам и по вихретоковым тормозным устройствам.

Результаты. Установлено, что основным параметром, определяющим функции тормозного магнитного ролика, а значит и скорость движения паллеты по гравитационному роликовому конвейеру, является коэффициент магнитной вязкости. Построена зависимость скорости движения паллеты по тормозному магнитному ролику при различных значениях коэффициента магнитной вязкости, проведен ее анализ.

Заключение. Разработана математическая модель процесса движения паллеты по тормозному магнитному ролику. Получено уравнение скорости движения паллеты по тормозному магнитному ролику. Для обоснованного выбора конструктивных параметров тормозного магнитного ролика требуются экспериментальные исследования по определению коэффициента магнитной вязкости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: паллета, стеллаж, гравитационный роликовый конвейер, магнитный (вихретоковый) тормозной ролик, коэффициент магнитной вязкости.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы выражают благодарность рецензентам статьи.

Поступила 04.05.20, принята к публикации 30.06.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Шарифуллин И.А., Носко А.Л., Сафронов Е.В. Математическая модель процесса движения паллеты по тормозному ролику магнитного типа. *Вестник СибАДИ*. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-364-373>

© Шарифуллин И.А., Носко А.Л., Сафронов Е.В.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-364-373>

MATHEMATICAL MODEL OF THE MOTION PALLET PROCESS ON BRAKE MAGNETIC TYPE ROLLER

I. A. Sharifullin, A. L. Nosko, E. V. Safronov
Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia

ABSTRACT

Introduction. One of the main elements of the safe operation of gravity roller conveyors used in pallet racks is a brake roller. The most promising design is the brake roller magnetic (eddy current) type. The operation principle of such rollers is based on the laws of electromagnetic induction and involves the braking of a conductor moving in a magnetic field, due to the interaction of eddy currents (or Foucault currents) arising in the volume of the conductor with an external magnetic field. However, in the market of warehouse shelving equipment, brake magnetic rollers are not widely used due to their high cost, which is primarily due to the lack of domestic designs and methods for their calculation. The aim of the work is to develop a mathematical model of the moving pallets process on a magnetic type brake roller.

Materials and methods. The paper presented the theoretical study results on the development of a mathematical model of the moving pallets process on a magnetic type brake roller, described in works on centrifugal friction rollers and eddy current brake devices.

Results. The main parameter determining the functions of the brake magnetic roller and hence the speed of the pallet along the gravity roller conveyor is a magnetic viscosity coefficient. The speed dependence of the pallets on the brake magnetic roller for various values of a magnetic viscosity coefficient is determined, its analysis is carried out.

Conclusions. A mathematical model of the moving pallets process on a brake magnetic roller is developed. The movement speed equation of the pallets on the brake magnetic roller is obtained. For a reasonable choice of the design parameters of the magnetic brake roller, experimental studies are required to determine a magnetic viscosity coefficient.

KEYWORDS: pallet, rack, gravity roller conveyor, magnetic (eddy current) brake roller, magnetic viscosity coefficient.

ACKNOWLEDGEMENTS. The authors express their gratitude to the reviewers of the article.

Submitted 04.05.20, revised 30.06.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

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

For citation: Sharifullin I. A., Nosko A. L., Safronov E. V. Mathematical model of the motion pallet process on brake magnetic type roller. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-364-373>

© Sharifullin I. A., Nosko A. L., Safronov E. V.



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

ВВЕДЕНИЕ

Гравитационный стеллаж (рисунок 1) для паллет является одним из видов блочного хранения или глубинных стеллажных систем хранения [1, 2, 3] и состоит из статической части (металлоконструкции) и динамической части (ролики, устройство остановки и разделения паллет, тормозные ролики и др.) [4]. Использование гравитационного стеллажа позволяет сократить расстояние перемещения погрузчика на 25% по сравнению с фронтальными стеллажами [5], поэтому такие стеллажи могут быть использованы в автоматизированном складе [6, 7].

Основным элементом безопасной эксплуатации гравитационных роликовых конвейеров (далее – ГРК), применяющихся в стеллажах для хранения и перемещения паллет с грузом под действием собственного веса, являются тормозные ролики [8], которые устанавливаются по длине конвейера с определенным шагом. Использование тормозных роликов обусловлено необходимостью ограничения скорости паллеты с грузом (далее – паллеты) в канале стеллажа [9]. Наиболее широкое применение в зарубежных гравитационных стеллажных системах для паллет нашли центробежные фрикционные ролики [8]. Однако они имеют целый ряд недостатков, главным из ко-

торых является износ фрикционной накладки тормоза, и, как следствие, изменение тормозных характеристик ролика.

Проведенный анализ различных конструкций тормозных роликов гравитационных конвейеров для паллет [8] показал, что одной из наиболее перспективных конструкций тормозных роликов будут тормозные ролики магнитного (вихретокового) типа (далее – ТМР), главным преимуществом которых является бесконтактное (не фрикционное) торможение, и, соответственно, отсутствие износа фрикционной накладки тормоза ролика.

Принцип работы таких роликов основан на законах электромагнитной индукции и предполагает торможение движущегося в магнитном поле проводника, обусловленное взаимодействием возникающих в объеме проводника вихревых токов (или токов Фуко) с внешним магнитным полем [10].

Однако на рынке складского стеллажного оборудования ТМР не нашли широкого применения ввиду своей высокой стоимости, которая в первую очередь обусловлена отсутствием отечественных конструкций и методик их расчета.

Целью работы является разработка математической модели (далее – ММ) процесса движения паллеты по ТМР.

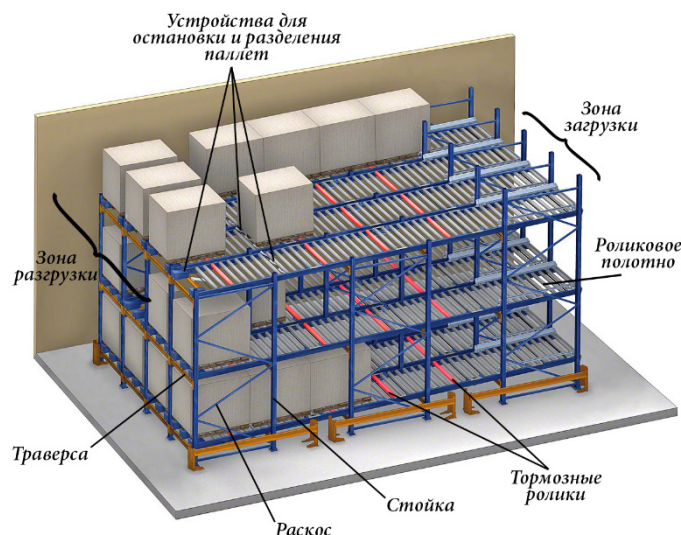


Рисунок 1 – Система паллетных гравитационных стеллажей

Figure 1 – Gravity pallet racking system

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Конструкция и описание работы ТМР. В МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре «Подъемно-транспортные системы» разработан ТМР (рисунок 2), который представляет собой тормозную вставку 3, на оси 4 которой устанавливаются планетарный мультипликатор 1 и магнитный (вихретоковый) тормоз 2.

Процесс торможения ТМР (рисунок 3) начинается при действии на обечайку ролика (корпус 3 тормозной вставки) крутящего момента, который через планетарный мультипликатор 1 передается на кольцо 5 (представлен прозрачным) и приводит его во вращение в магнитном поле, создаваемым постоянными магнитами 6, расположенными с чередующейся полярностью и жестко связанными посредством переходника с тормозной вставкой 3.

Кольцо 5 выполнено из материала, обладающего высокой удельной проводимостью, например меди или алюминия. Согласно закону силы Лоренца на поверхности кольца индуцируются вихревые токи (токи Фуко) и создают момент сопротивления приложенной внешней нагрузке (тормозной момент). В качестве материала постоянных магнитов 6 используется соединение Nd-Fe-B (неодим-железо-бор). Такие магниты обладают наилучшими магнитными и электрическими свойствами, срок службы которых на сегодняшний день составляет 20–25 лет и более, а также имеют высокое значение коэрцитивной силы, что делает ТМР практически нечувствительным к воздействию внешних магнитных полей [11].

Таким образом, в конструкции ТМР величина воздушного зазора между магнитами 6 и кольцом 5 остается неизменной, а тормозной момент зависит от скорости их относительного вращения.

Математическая модель расчета. При разработке ММ были использованы подходы, изложенные в работах [9, 12] для центробежных фрикционных роликов и [13, 14] для вихретоковых тормозных устройств. На рисунке 4 представлены расчетные схемы ГРК и ТМР.

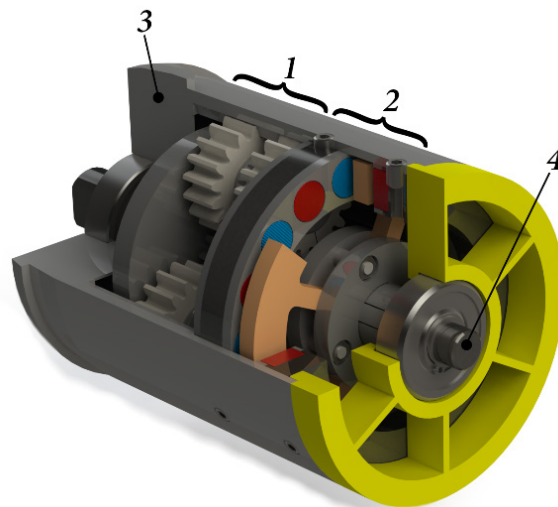


Рисунок 2 – Общий вид ТМР (3D-модель):

1 – планетарный мультипликатор,
2 – магнитный (вихретоковый) тормоз,
3 – тормозная вставка, 4 – ось

Figure 2 – General view of TMP (3D model):

1 – planetary multiplier, 2 – magnetic (eddy current) brake,
3 – brake insert, 4 – axis

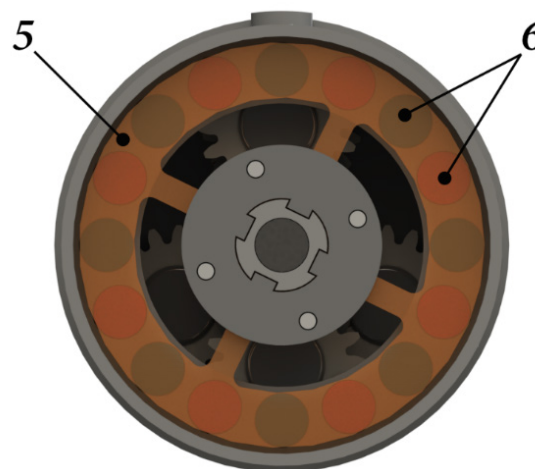


Рисунок 3 – Магнитный (вихретоковый) тормоз:

5 – кольцо (представлено прозрачным),
6 – постоянные магниты

Figure 3 – Magnetic (eddy current) brake:

5 – ring (transparent), 6 – permanent magnets

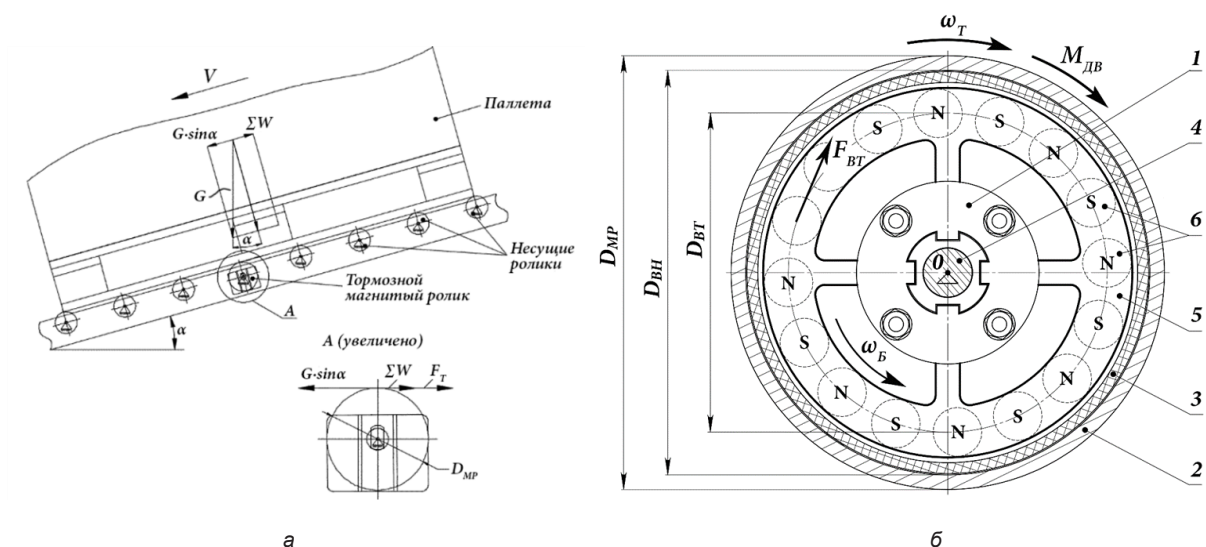


Рисунок 4 – Расчетные схемы ГПК (а) и TMP (б):
1 – ступица; 2 – обечайка TMP; 3 – тормозная вставка; 4 – неподвижная ось тормозной вставки;
5 – медное кольцо; 6 – постоянные магниты

Figure 4 – Design schemes of GPK (a) and TMP (б):
1 – nave; 2 – TMP shell; 3 – brake insert; 4 – fixed axis of the brake insert; 5 – copper ring; 6 – permanent magnets

Движение паллеты по TMP описывается основным уравнением динамики поступательно-го движения (рисунок 4,а), которое имеет вид

$$M \frac{dV}{dt} = G \cdot \sin \alpha - \Sigma W - F_T = G(\tan \alpha - w) - F_T, \quad (1)$$

где M – масса паллеты, кг; V – скорость движения паллеты по TMP, м/с; G – сила тяжести, действующая на паллету, Н; ΣW – сумма сил сопротивления передвижению паллеты на ГРК, Н; F_T – тормозная сила TMP,

Н; $w = \Sigma \frac{W}{G \cdot \cos \alpha}$ – приведенный коэффициент сопротивления передвижению паллеты по роликовому полотну ГРК [15]. С учетом малости угла наклона ГРК $\alpha = 1,7 \dots 2,8^\circ$, можно принять $\sin \alpha \cong \tan \alpha$, $\cos \alpha \cong 1$.

В свою очередь **вращение TMP** может быть описано основным уравнением динамики вращательного движения относительно т. О (рисунок 4,б):

$$J_{MP} \frac{d\omega}{dt} = \Sigma M_O = M_{ДВ} - M_{T1} - M_{T2}, \quad (2)$$

где J_{MP} – момент инерции TMP, кг·м²; ω_T – угловая скорость TMP, с⁻¹; $M_{ДВ}$ – движущий момент, действующий на обечайку TMP, Н·м; M_{T1} , M_{T2} – тормозные моменты, действующие на обечайку и ступицу вихретокового тормоза TMP, при-

веденный к его обечайке, соответственно, Н·м.

Считая движение паллеты по TMP равномерным ($\frac{dV}{dt} = 0$) и принимая скорость паллеты $V = \frac{\omega_T D_{MP}}{2}$, где D_{MP} – диаметр TMP, получим

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d\left(\frac{\omega_T D_{MP}}{2}\right)}{dt} = 0 \Rightarrow J_{MP} \frac{d\omega_T}{dt} = 0 \Rightarrow M_{ДВ} - M_{T1} - M_{T2} = 0. \quad (3)$$

Следовательно, ММ процесса движения паллеты по TMP может быть представлена в виде

$$M_{ДВ} = M_{T1} + M_{T2}. \quad (4)$$

С учетом малости угла наклона α роликового полотна ГРК движущий момент $M_{ДВ}$, действующий на обечайку TMP равен

$$M \frac{dV}{dt} = 0 \Rightarrow F_T = G(\tan \alpha - w) \Rightarrow M_{ДВ} = \frac{D_{MP} \cdot G(\tan \alpha - w)}{2}. \quad (5)$$

При определении суммы сил сопротивления ΣW передвижению паллеты на ГРК согласно исследованиям [12] при движении паллеты по роликовому полотну ГРК можно принять следующие допущения:

- скольжение паллеты по роликам отсутствует;
- из-за равномерного характера движения паллет по ГРК силы инерции несущих роликов и паллеты не возникают;

• сопротивление от неровности роликового полотна ГРК является местным и в расчетах может не учитываться.

В этом случае необходимо учитывать только сопротивление от трения в опорах несущих роликов и качения паллеты по несущим роликам ГРК, определение которых подробно изложено в [16, 17, 18].

Тормозной момент M_{T1} , действующий на обечайку ТМР:

$$M_{T1} = F_{BT} \cdot \frac{D_{BT}}{2}, \quad (6)$$

где F_{BT} – сила торможения вихретокового тормоза, Н; $D_{BT}/2$ – расстояние от оси вращения ТМР до центра постоянных магнитов, м.

Тормозной момент M_{T2} , действующий на ступицу 1 вихретокового тормоза ТМР, приведенный к его обечайке равен

$$M_{T2} = F_{BT} \cdot \frac{D_{BT}}{2} \cdot u \cdot \eta_{MP}, \quad (7)$$

где u – передаточное отношение мультипликатора ТМР; η_{MP} – КПД ТМР.

Подставив (5) – (7) в (4) получим

$$\frac{D_{MP} \cdot G(\tan \alpha - w)}{2} = F_{BT} \cdot \frac{D_{BT}}{2} + F_{BT} \cdot \frac{D_{BT}}{2} \cdot u \cdot \eta_{MP}. \quad (8)$$

В таком случае сила торможения вихретокового тормоза ТМР, учитывая $G=M \cdot g$ (где $g=9,81$ м/с² – ускорение свободного падения):

$$F_{BT} = \frac{D_{MP} \cdot M \cdot g(\tan \alpha - w)}{D_{BT} \cdot (1 + u \cdot \eta_{MP})}. \quad (9)$$

С другой стороны согласно [13, 14, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26] сила торможения вихретокового тормоза определяется следующим образом:

$$F_{BT} = \beta \cdot \omega_{\text{отн}} \cdot \frac{D_{BT}}{2}, \quad (10)$$

где β – коэффициент магнитной вязкости, Н·с/м; $\omega_{\text{отн}}$ – угловая скорость медного кольца относительно постоянных магнитов, с⁻¹.

Тогда для представленной конструкции ТМР (рисунок 4,б): $\omega_{\text{отн}} = \omega_T + \omega_B$, где $\omega_T = \pi n_T / 30$ – угловая скорость обечайки ТМР, с⁻¹; n_T – частота

вращения обечайки ТМР, об/мин; $\omega_B = \pi n_B / 30$ – угловая скорость ступицы вихретокового тормоза, с⁻¹; n_B – частота вращения ступицы вихретокового тормоза, об/мин. При этом ввиду наличия мультипликатора $n_B = u \cdot n_T$.

При условии отсутствия проскальзывания паллеты по ТМР (на основании исследований, проведенных в работе [12]) частота вращения обечайки n_T ТМР:

$$n_T = \frac{60 \cdot V}{\pi \cdot D_{MP}}. \quad (11)$$

Тогда $\omega_{\text{отн}}$:

$$\begin{aligned} \omega_{\text{отн}} &= \frac{\pi \cdot n_B}{30} + \frac{\pi \cdot n_T}{30} = \frac{\pi}{30} (u \cdot n_T + n_T) = \\ &= \frac{\pi}{30} \cdot \frac{60 \cdot V}{\pi \cdot D_{MP}} (1 + u) = \frac{2 \cdot V}{D_{MP}} (1 + u). \end{aligned} \quad (12)$$

Подставляя (12) в (10) и приравнявая (9) и (10), получим расчетную зависимость для определения скорости V движения паллеты по ТМР:

$$V = \frac{D_{MP}^2 \cdot g(\tan \alpha - w)}{D_{BT}^2 \cdot \beta \cdot (1 + u \cdot \eta_{MP})(1 + u)} \cdot M. \quad (13)$$

Как видно из анализа формулы (13), основным параметром, определяющим тормозные функции ТМР, а значит и скорость движения паллеты по ТМР, является коэффициент магнитной вязкости – β .

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ расчетной зависимости скорости движения паллеты по магнитному ролику. Как правило, диаметр ТМР D_{MP} выбирается исходя из конструктивных ограничений ГРК и гравитационного стеллажа для паллет. На практике чаще всего используются трубы с диаметром D_{MP} равным 80 или 89 мм с толщиной стенки 3 мм. В разработанной конструкции (см. рисунок 2) $D_{MP} = 89$ мм, а $D_{BH} = 83$ мм, а в качестве мультипликатора на основании анализа, проведенного в работе [6], используется двухступенчатый мультипликатор с передаточным отношением $u=24$. КПД ТМР η_{MP} может быть рассчитан по аналогии с КПД центробежного фрикционного ролика [12].

Таблица
Исходные данные для расчета скорости V движения паллеты по TMP
Table
Initial data for calculating the speed V of the pallet movement on TMP

Параметр	Значение	Единица измерения
Масса паллеты M	100–1500	кг
Диаметр TMP D_{MP}	0,089	м
Длина TMP L_{MP}	0,88	м
Внутренний диаметр обечайки TMP D_{BH}	0,083	м
Приведенный коэффициент сопротивления передвижению паллеты по роликовому полотну ГРК w	0,02	–
Уклон роликового полотна ГРК $\tan \alpha$	0,04	–

Согласно [13, 14, 19, 20] коэффициент магнитной вязкости может быть определен по формуле

$$\beta = n \frac{\pi \sigma}{4} D^2 dB^2, \quad (14)$$

где n – количество магнитов; σ – удельная проводимость материала кольца, См/м; B – магнитная индукция, Тл; D – диаметр поперечного сечения магнита, м; d – толщина кольца, м.

Зависимости скорости V движения паллеты по TMP при различных значениях коэффициента β показаны на рисунке 5.

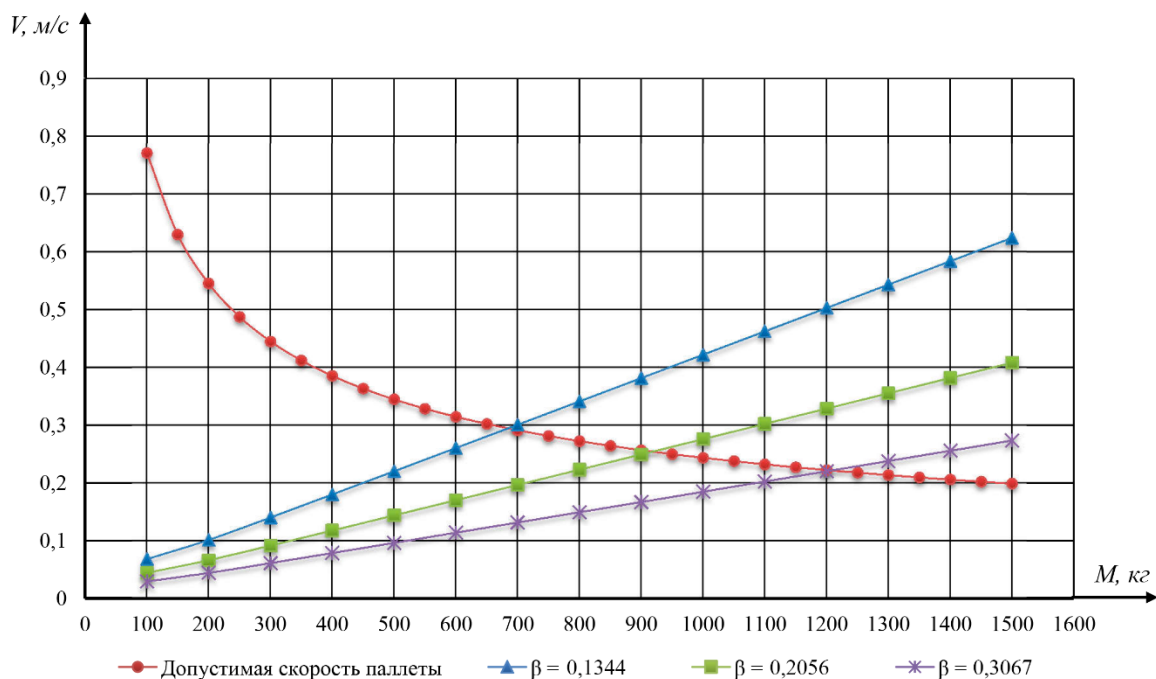


Рисунок 5 – Зависимость скорости движения паллеты по TMP при различных значениях коэффициента β

Figure 5 – Speed pallets dependence on TMP at various values of the coefficient β

Как видно из рисунка 5, скорость движения паллеты массой M по ТМР представляет собой практически линейную зависимость, при этом наклон графика скорости определяется коэффициентом магнитной вязкости β .

Однако формула (14) не учитывает влияния воздушного зазора между медным кольцом и магнитами и их положения друг относительно друга (краевого эффекта) на коэффициент магнитной вязкости β и тормозной момент $M_{\text{вт}}$. Это не позволяет обоснованно подойти к выбору конструктивных параметров вихретокового тормоза ТМР и требует проведения экспериментальных исследований по определению коэффициента магнитной вязкости β для условий эксплуатации ТМР, используемых в ГРК для паллет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Разработана математическая модель процесса движения паллеты по ТМР.
- Получено уравнение скорости движения паллеты по ТМР.
- Для обоснованного выбора конструктивных параметров вихретокового тормоза ТМР требуются экспериментальные исследования по определению коэффициента магнитной вязкости β .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. N. Boysen, D. Boywitzer, F. Weidinger. Deep-lane storage of time-critical items: one-sided versus two-sided access // *OR Spectrum*. 2018. Vol. 40, No. 4. Pp. 1141–1170.
2. D. Boywitzer, N. Boysen. Robust storage assignment in stack- and queue-based storage systems // *Comput. Oper. Res.* 2018. Vol. 100. Pp. 189–200.
3. R. Accorsi, G. Baruffaldi, R. Manzini. Design and manage deep lane storage system layout. An iterative decision-support model // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017. Vol. 92, No. 1-4. Pp. 57–67.
4. R. Vujanac, N. Miloradovic, S. Vulovic. Dynamic storage systems // *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*. 2016. Vol. XIV. Pp. 79–82.
5. S. Wu, Ya. Wu, Ya. Wang. A structured comparison study on storage racks system // *J. Residuals Sci. Tech.* 2016. Vol. 13, No. 8.
6. L. Ghomri, Z. Sari. Mathematical modeling of the average retrieval time for flow-rack automated storage and retrieval systems // *J. Manuf. Syst.* 2017. Vol. 44. Pp. 165–178.
7. M. A. Hamzaoui, Z. Sari. Optimal dimensions minimizing expected travel time of a single machine flow rack AS/RS // *Mechatronics*. 2015. Vol. 31. Pp. 158–168.
8. Сафронов Е.В., Шарифуллин И.А., Носко А.Л. Устройства безопасной эксплуатации гравитационных роликовых конвейеров паллетного типа: монография. Москва, Университетская книга, 2018. 72 с.
9. Носко А.Л., Сафронов Е.В. Методика определения максимально допустимой скорости движения поддона на гравитационном роликовом конвейере // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2017. № 8 (689). С. 33–41.
10. Мартыненко Ю. Г. Движение твердого тела в электрических и магнитных полях: монография. Москва, Наука. 1988. 368 с.
11. Озолин А.Ю., Скубов Д.Ю., Штукин Л.В. Способы торможения падающего лифта с помощью постоянных магнитов / *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*. 2008. № 6 (70). С. 82–86.
12. Носко А. Л., Сафронов Е. В. Методика расчета тормозного ролика центробежного типа применительно к гравитационным роликовым конвейерам для паллет // *Механизация строительства*. 2017. Том 78, № 6. С. 26–31.
13. E. Simeu, D. Georges. Modeling and control of an eddy current brake // *Control Engineering Practise*. 1996. Vol.4. No.1. Pp. 19–26.
14. Озолин А.Ю., Скубов Д.Ю., Штукин Л.В. Исследование вихретокового дискового тормоза // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*. 2009. № 1 (74). С. 57–60.
15. Лускань О.А. Определение скорости транспортирования штучных грузов на инерционном роликовом конвейере / *Изв. ТулГУ. Подъемно-транспортные машины и оборудование*. – Тула: ТулГУ. 2003. Вып. 4. С. 84–89.
16. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта. М.: Машиностроение, 1987. 431 с.
17. Лускань О.А. Теоретические основы перемещения грузов импульсными конвейерами: монография. Саратов, Саратов. гос. техн. ун-т, 2010. 99 с.
18. Лускань О.А. Инженерный расчет импульсных конвейеров: монография. Саратов, Саратов. гос. техн. ун-т, 2011. 80 с.
19. Hollowell, Thomas Culver; Kahl, Justin Tyme; Stanczak, Matthew Don; Wang, Yizhou. Eddy Current Brake Design for Operation with Extreme Backdrivable Eddy Current Motor // *Mechanical Engineering Undergraduates*. 2010.
20. Andrew H. C. Gosline, Vincent Hayward. Eddy Current Brakes for Haptic Interfaces: Design, Identification, and Control // *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. 2008. Vol.13, No.6. Pp. 669–677.
21. Karakoc Kerem, Suleman Afzal, Park Edward J. Analytical modeling of eddy current brakes with the application of the time varying magnetic fields // *Applied Mathematical Modeling, Netherlands*. 2015. Pp. 1168–1179.
22. Karakoc Kerem, Park Edward J., Suleman Afzal. Improved braking torque generation capacity of an eddy current brake with time varying magnetic fields: A numerical study // *Finite Elements in Analysis and Design*. Elsevier. 2012. Vol. 59. Pp. 66–75.

23. K. Lee, K. Park. Modeling eddy currents with boundary conditions by sing Coulomb's law and the method of images // *IEEE Transactions on Magnetics*. 2002. Vol. 38, No. 2. Pp. 1333–1340.

24. M.A. Heald. Magnetic braking: Improved theory // *American Journal of Physics*. 1988. Vol. 56, No. 6. Pp. 521–522.

25. S. Anwar. A parametric model of an eddy current electric machine for automotive braking applications // *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2002. Vol. 12, No. 3. Pp. 422–427.

26. Hyeon-Jae Shin, Jang-Young Choi, Han-Wook Cho, Seok-Myeong Jang. Analytical torque calculations and Experimental testing of permanent magnet Axial eddy current brake // *IEEE Transactions of Magnetics*. 2013. Vol. 49, No. 7. Pp. 4152–4155.

REFERENCES

1. N. Boysen, D. Boywitz, F. Weidinger. Deep-lane storage of time-critical items: one-sided versus two-sided access // *OR Spectrum*. 2018; 40, 4: 1141–1170.

2. D. Boywitz, N. Boysen N. Robust storage assignment in stack- and queue-based storage systems // *Comput. Oper. Res.* 2018; 100: 189–200.

3. R. Accorsi, G. Baruffaldi, R. Manzini, Design and manage deep lane storage system layout. An iterative decision-support model // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017; 92 (1-4): 57–67.

4. R. Vujanac, N. Miloradovic, S. Vulovic. Dynamic storage systems // *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*. 2016; 14: 79–82.

5. S. Wu, Ya. Wu, Ya. Wang. A structured comparison study on storage racks system // *J. Residuals Sci. Tech.* 2016; 13 (8).

6. L. Ghomri, Z. Sari. Mathematical modeling of the average retrieval time for flow-rack automated storage and retrieval systems // *J. Manuf. Syst.* 2017; 44: 165–178.

7. M. A. Hamzaoui, Z. Sari. Optimal dimensions minimizing expected travel time of a single machine flow rack AS/RS // *Mechatronics*. 2015; 31: 158–168.

8. Safronov E.V., Sharifullin I.A., Nosko A.L. Ustroystva bezopasnoy ekspluatatsii gravitatsionnykh rolikovykh konveyerov palletnogo tipa: Monografiya [Devices for safe operation of pallet type gravity roller conveyors: Monograph]. Moscow. *Universitetskaya kniga*. 2018: 72. (in Russian)

9. Nosko A.L., Safronov E.V. Metodika opredeleniya maksimal'no dopustimoy skorosti dvizheniya poddona na gravitatsionnom rolikovom konveyere [Methodology for determining the maximum allowable speed of a pallet on a gravity roller conveyor]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye*. 2017; 8 (689): 33–41. (in Russian)

10. Martynenko U. G. Dvizheniya tverdogo tela v elektricheskikh i magnitnykh polyakh: monografiya [Motion of a solid in electric and magnetic fields: monograph]. Moscow. *Nauka*. 1988: 368. (in Russian)

11. Ozolin A.U., Skubov D.U., Shtukin L.V. Sposoby tormozheniya padayushchego lifta s

pomoshch'yu postoyannykh magnitov [Methods of braking a falling lift with the help of permanent magnets]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta*. 2008; 6 (70): 82–86. (in Russian)

12. Nosko A. L., Safronov E. V. Metodika rascheta tormoznogo rolika tsentrobezhnogo tipa primenitel'no k gravitatsionnym rolikovym konveyeram dlya pallet [Calculation method of the centrifugal type brake roller as applied to gravity roller conveyors for pallets]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*. 2017; 78; 6: 26–31. (in Russian)

13. E. Simeu, D. Georges. Modeling and control of an eddy current brake // *Control Engineering Practise*. 1996; 4 (1): 19–26.

14. Ozolin A.U., Skubov D.U., Shtukin L.V. Issledovaniye vikhretokovogo diskovogo tormoza [Research eddy current disc brake]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta*. 2009; 1 (74): 57–60. (in Russian)

15. Luskan' O.A. Opredeleniye skorosti transportirovaniya shtuchnykh грузов na inertsionnom rolikovom konveyer [Determining the speed of piece goods transportation on an inertial roller conveyor]. *Izv. TulGU. Pod'yemno-transportnyye mashiny i oborudovaniye*. Tula: TulGU. 2003; 4: 84–89. (in Russian)

16. Zenkov R.L., Ivashkov I.I., Kolobov L.N. Mashiny nepreryvnogo transporta [Continuous transport machines]. Moscow. *Mashinostroyeniye*. 1987: 431. (in Russian)

17. Luskan' O.A. Teoreticheskiye osnovy peremeshcheniya грузов impul'snymi konveyerami: Monografiya [Theoretical foundations of the goods movement by pulse conveyors: Monograph]. Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t. 2010: 99. (in Russian)

18. Luskan' O.A. Inzhenernyy raschet impul'snykh konveyerov: Monografiya [Engineering calculation of pulse conveyors: Monograph]. Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t. 2011: 80. (in Russian)

19. Hollowell, Thomas Culver; Kahl, Justin Tyme; Stanczak, Matthew Don; Wang, Yizhou. Eddy Current Brake Design for Operation with Extreme Back-drivable Eddy Current Motor. *Mechanical Engineering Undergraduates*. 2010.

20. Andrew H. C. Gosline, Vincent Hayward. Eddy Current Brakes for Haptic Interfaces: Design, Identification, and Control. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. 2008; 13 (6): 669–677.

21. Karakoc Kerem, Suleman Afzal, Park Edward J. Analytical modeling of eddy current brakes with the application of the time varying magnetic fields. *Applied Mathematical Modeling, Netherlands*. 2015. 1168–1179.

22. Karakoc Kerem, Park Edward J., Suleman Afzal. Improved braking torque generation capacity of an eddy current brake with time varying magnetic fields: A numerical study. *Finite Elements in Analysis and Design. Elsevier*. 2012; 59: 66–75.

23. K. Lee, K. Park. Modeling eddy currents with boundary conditions by sing Coulomb's law and the

method of images. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2002; 38 (2): 1333–1340.

24. M.A. Heald. Magnetic braking: Improved theory. *American Journal of Physics*. 1988; 56 (6): 521–522.

25. S. Anwar. A parametric model of an eddy current electric machine for automotive braking applications. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2002; 12 (3): 422–427.

26. Hyeon-Jae Shin, Jang-Young Choi, Han-Wook Cho, Seok-Myeong Jang. Analytical torque calculations and Experimental testing of permanent magnet Axial eddy current brake. *IEEE Transactions of Magnetics*. 2013; 49 (7): 4152–4155.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Шарифуллин Ильдар Азатович. Участвовал в разработке математической модели процесса движения паллеты по TMP, выполнении расчетов, анализе полученных результатов, формировании выводов, выполнил обзор литературных источников (60%).

Носко Андрей Леонидович. Участвовал в формировании направления исследования, разработке математической модели, анализе полученных результатов (20%).

Сафронов Евгений Викторович. Участвовал в постановке задачи исследования, разработке математической модели, анализе полученных результатов, формировании выводов (20%).

AUTHORS 'CONTRIBUTION

Ildar A. Sharifullin – participation in the development of a mathematical model of the pallet movement process on TMP, calculations, analysis of the results, performed a review of references (60%).

Andrei L. Nosko – participation in the formation of the research direction, the development of a mathematical model, the analysis of the results (20%).

Evgenii V. Safronov – participation in the formulation of the research problem, the development

of a mathematical model, and the formation of the conclusions (20%).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шарифуллин Ильдар Азатович – аспирант кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, тел. (499) 263–65–92, e-mail: formyjob94@mail.ru).

Носко Андрей Леонидович – д-р техн. наук, доц., Scopus Author ID 6507019256, проф. кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, тел. (499) 263–65–92, e-mail: nosko@bmstu.ru).

Сафронов Евгений Викторович – канд. техн. наук, Scopus Author ID 36943598600, доц. кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, тел. (499) 263–65–92, e-mail: gen-s@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ildar A. Sharifullin – a postgraduate of the Lifting and Transport Systems Department, Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, 2 Baumanskaia Street., 5, building 1, tel. (499) 263–65–92, e-mail: formyjob94@mail.ru).

Andrei L. Nosko – Dr. of Sci., Associate Professor, Scopus Author ID 6507019256, Professor of the the Lifting and Transport Systems Department, Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, 2 Baumanskaia Street., 5, building 1, tel. (499) 263–65–92, e-mail: nosko@bmstu.ru).

Evgenii V. Safronov – Cand. of Sci., Scopus Author ID 36943598600, Associate Professor of the Lifting and Transport Systems Department, Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, 2 Baumanskaia Street., 5, building 1, tel. (499) 263–65–92, e-mail: gen-s@mail.ru).

УДК 656.131.2

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-374-389>

БЕЗОПАСНОСТЬ ТАКСОМОТОРНЫХ ПЕРЕВОЗОК ТРЕБУЕТ СИСТЕМНЫХ РЕШЕНИЙ

Н.О. Блудян

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье рассматриваются проблемы обеспечения безопасности перевозок пассажиров легковыми такси. Проводится анализ действующей системы регулирования и организации таксомоторных перевозок в РФ и некоторых зарубежных мегаполисах. Указывается на несовершенство регулирования таксомоторных перевозок и системы выдачи «Разрешений» юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям. Проведен анализ причин коренных изменений бизнес-модели таксомоторных перевозок в условиях деятельности агрегаторов. Подчеркивается важность обеспечения безопасности перевозок пассажиров легковыми такси в новых условиях. В статье анализируются последствия появления в сфере такси компаний-агрегаторов и их радикальное преобразование классических таксомоторных перевозок.

Материалы и методы. На основе анализа международного опыта обосновывается первоочередное значение требований к водителю такси, предъявляемых в крупнейших мегаполисах мира. Приводится сравнительная оценка безопасности перевозок легковыми такси с уровнем аварийности на автомобильном транспорте в странах Западной Европы.

На основе официальных статистических данных показано снижение за последние годы уровня безопасности перевозок легковыми такси в г. Москве, а также в сравнении с аварийностью в РФ. Указано, что показатель социального риска в таксомоторных перевозках в г. Москве превышает общероссийский уровень примерно на 300%.

Показано наличие корреляционной связи безопасности перевозок в сфере такси с уровнем дохода водителя такси.

Результаты. В результате выполненных исследований в г. Москве определены математические зависимости заработной платы водителя от выручки и продолжительности работы. Существующие тарифы, диктуемые агрегаторами, не обеспечивают минимальный социальный уровень дохода и вынуждают водителей к переработкам, нарушению режима труда и, как следствие, увеличению количества аварий. Обзор зарубежных исследований также показал, что снижение часового дохода водителей такси приводит к увеличению количества аварий. Показано падение реальных доходов водителей такси в г. Москве в результате деятельности агрегаторов и одновременный рост комиссии агрегаторов в 10–12 раз за годы их деятельности.

Обсуждение. На основе выполненного исследования предложены концептуальные подходы совершенствования системы регулирования таксомоторной деятельности в нашей стране с целью повышения безопасности перевозок пассажиров.

Изменения действующей системы регулирования должны установить правовой статус агрегаторов заказов на перевозки и их ответственность за безопасность пассажиров. Предполагаемая система предусматривает изменение полномочий по тарифному регулированию таксомоторных перевозок. Предполагается введение «допуска к профессии» водителя и «допуска на рынок» субъектов предпринимательской деятельности.

Заключение. Введение разрешительной системы деятельности агрегаторов, основанной на требованиях к их операционной деятельности и к мобильным платформам (приложениям) позволят повысить безопасность таксомоторных перевозок. Этому будут способствовать также требования к уровню профессионализма водителей в виде «допуска к профессии». Аналогично по «допуску на рынок» субъектов, осуществляющих непосредственно перевозки пассажиров. Создание цифровых профилей и контроль за передачей заказов агрегаторами исключат организацию нелегальных перевозок. Правовой статус водителя такси и организация контроля режима их труда позволят оптимизировать тарифное регулирование и повысить уровень оплаты труда.

Предложенный комплекс мер в совокупности позволят повысить безопасность перевозок легковыми такси.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: такси, водитель, пассажир, безопасность, авария, перевозка, доход, агрегатор, регулирование, режим работы, требования.

© Блудян Н.О.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Поступила 18.05.2020, принята к публикации 30.06.2020.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Блудян Н.О. Безопасность таксомоторных перевозок требует системных решений. Вестник СиБАДИ. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-374-389>

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-374-389>

TAXI TRANSPORT SAFETY REQUIRES SYSTEM SOLUTIONS

N.O. Bludyan

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia

ABSTRACT

Introduction. The article deals with the problems of ensuring the safety of passenger by taxis. The current system of regulation and organization of taxi transport in the Russian Federation and some foreign mega-cities is being analyzed. It is pointed out that the regulation of taxi transportation and the system of permits issuing to legal persons and individual entrepreneurs is not perfect. The analysis of the reasons for the fundamental changes in the business model of taxi transport in the conditions of operation of aggregators has been carried out. The importance of ensuring the safety of passenger taxis in the new conditions is stressed. The article analyzes the consequences of the emergence of aggregate taxi companies and their radical transformation of classical taxi transport.

Materials and methods. Based on the analysis of international experience, the priority of taxi driver requirements in the world's largest mega-cities is justified. A comparison of the safety of passenger taxis with road traffic accidents in Western Europe is given.

On the basis of official statistics, the level of safety of passenger taxi transport in Moscow and in comparison with accidents in the Russian Federation has been decreasing in recent years. However, the Russian Federation has not been able to meet the requirements of the Russian Federation. It is stated that the social risk indicator in taxi transport in Moscow, Russia, exceeds the Russian level by about 300%.

The correlation between the safety of transport in taxis and the income of taxi drivers has been shown.

Results. As a result of the research carried out in Moscow, a mathematical relationship between the driver's salary and earnings and the duration of work has been determined. The results of the research carried out in Moscow are as follows: The Russian Federation has taken a number of steps. The existing tariffs dictated by aggregators do not provide a minimum level of social income and force drivers to recycle, disrupt work and consequently increase the number of accidents.

A review of foreign studies also showed that a reduction in the hourly income of taxi drivers leads to an increase in the number of crashes. The real incomes of taxi drivers in Moscow are shown as a result of the activities of aggregators. The commission of aggregators has grown 10-12 times in the years of their activity.

Discussion. On the basis of the completed study conceptual approaches to improve the system of regulation of taxi activity in our country with the aim of increasing the safety of passenger transport are proposed.

Changes to the current regulatory system should establish the legal status of transport order aggregators and their responsibility for the safety of passengers. The proposed system envisages a change in the authority for tariff regulation of taxi transport. The introduction of «access to the profession» of the driver and «access to the market» of business entities is envisaged.

Conclusion. The introduction of a permitting system for aggregators based on their operational requirements and on mobile platforms (applications) will increase the safety of taxi transportation. This will also be facilitated by the requirements for the level of professionalism of drivers in the form of 'an access to the profession'. The same is true for 'access to a market' of entities directly carrying passengers. The creation of digital profiles and the control of orders transferred by aggregators will prevent illegal traffic. The legal status of taxi drivers and the monitoring of their working conditions will make it possible to optimize tariff regulation and raise the level of pay.

The proposed set of measures together will improve the safety of passenger taxis.

KEYWORDS: taxi; driver; passenger; safety; accident; transportation; income; aggregator; regulation; operating mode; requirements

Submitted 18.06.2020, revised 30.06.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

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

For citation: Bludyan N.O. Taxi transport safety requires system solutions. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-374-389>

© Bludyan N.O.



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

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития экономики и социальной сферы в мире и в нашей стране характеризуется всё большим уровнем глубины проникновения цифровизации. Одной из первых отраслей, которая «испытала на себе» влияние цифровизации, является транспорт. Началом эры цифровизации на автомобильном транспорте можно считать появление в США онлайн-приложения (платформы) заказа такси компании Uber.

Рынок таксомоторных перевозок в нашей стране начиная с 2010 г. претерпел фундаментальные изменения. Причиной этого явились два глобальных фактора:

1. Появление у нас в стране на рынке таксомоторных перевозок агрегаторов и отечественных мобильных платформ, которые разрушили привычные общепринятые до этого бизнес-модели отрасли. Прием и распределение заказов и организация перевозок, включая фактически тарифное регулирование, перешли от таксопарков к агрегаторам.

2. Спустя годы полной дерегулированности начался новый этап формирования на федеральном и региональном уровнях легальных таксомоторных перевозок.

Специфической особенностью системы организации таксомоторных перевозок в Московской агломерации естественным образом стали масштабы реформ и объемы рынка. По некоторым исследованиям рынок Московской агломерации представляет из себя наиболее развитую в РФ, где выдано наибольшее количество «Разрешений».

В связи с этим некоторые проблемы и предметы научных исследований и их научно-практическая ценность дореформенного периода просто исчезли или в значительной степени потеряли свою актуальность.

Одновременно новая система принесла новые проблемы, особенно в части обеспечения безопасности перевозок, которые ранее не стояли перед отраслью. При этом проблемы крупных агломераций мира очень схожи (Москва, Нью-Йорк, Лондон, Токио, Шанхай и др.). В более маленьких городах, включая даже миллионники, свои специфические проблемы, не корреспондирующие с агломерационными.

Проблемам организации качественной и безопасной услуги по перевозке легковыми такси в современных условиях агломераций посвящен ряд отечественных исследований [1, 2, 3, 4]. Работы [1, 2, 3] посвящены проблемам совершенствования организационных прин-

ципов и систем управления таксомоторными перевозками. В работе [4] сделан критический анализ действующей системы нормативного правового регулирования рынка таксомоторных перевозок в Московской агломерации.

Исследования [5, 6] посвящены проблемам планирования и организации перевозок на основе анализа количества выданных «Разрешений» на таксомоторную деятельность. Разработана многокритериальная модель определения необходимого количества «Разрешений», а также потребности такси в разрезе каждого часа суток. По результатам количества заказов, поступающих из различных районов города, определены их зависимости от численности населения и плотности улично-дорожной сети микрорайонов.

В работе [7] подчеркивается важность таксомоторных перевозок в крупных городах РФ и выдвигается идея необходимости принципиально новой системы регулирования. С использованием математического аппарата системы массового обслуживания предложено создание специальных стоянок (парковок) легковых такси с возможностью краткосрочной остановки (стоянки) для посадки/высадки пассажиров. В работе [8] разработан комплекс факторов таксомоторных перевозок и создан рейтинг агрегаторов. Необходимо отметить, что, к сожалению, в перечне факторов нет «безопасности», а под участником рынка понимается исключительно «агрегатор».

Анализ литературных источников показывает, что многие отечественные исследования посвящены вопросам правового регулирования и работы служб заказа такси агрегаторов [9, 10, 11, 12].

Проблемы обеспечения безопасности таксомоторных перевозок в крупных агломерациях к настоящему времени не нашли пока должного освещения в отечественной научной литературе.

Вопросам качества и безопасности услуг по перевозке пассажиров легковых такси посвящен ряд зарубежных исследований [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28]. В большинстве своем в работах проведена оценка психофизиологических показателей водителя на аварийность. Работы [18, 22, 14] посвящены оценке влияния дерегулирования рынка таксомоторных перевозок на безопасность. Работы [23, 24, 25, 26, 27, 28] посвящены вопросам оценки качества услуг такси. Большое количество исследований посвящены проблемам влияния онлайн-приложений

(платформ) Uber и Lyft на классический рынок таксомоторных перевозок^{1,2}.

Транспортная отрасль является сферой, представляющей опасность для жизни и здоровья людей. Поэтому очень важно выявить самые существенные и основополагающие факторы, приводящие к дорожно-транспортным происшествиям, и управлять ими. Необходимо пересмотреть в контексте новых реалий стандартные подходы, призванные обеспечивать безопасность пассажирских автомобильных перевозок, в т.ч. легковыми такси.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нормативно-правовое регулирование по организации и обеспечению безопасности таксомоторных перевозок осуществляется комплексом законодательных и подзаконных актов, основными из которых являются^{3,4}.

Регулирование таксомоторных перевозок в нашей стране имеет свои специфические особенности, которые, на наш взгляд, не способствуют повышению уровня безопасности.

На рисунке 1 (источник: составлено автором) приведена общая схема организации производственного процесса по осуществлению перевозок легковыми такси. Концептуальным пробелом действующей системы является то, что «Разрешение» на осуществление перевозок выдаётся юридическому лицу или индивидуальному предпринимателю с привязкой к конкретному транспортному средству. Далее, согласно алгоритму процедур (см. рисунок 1), транспортное средство с «Разрешением» переходит к физическому лицу, которое юридически к таксомоторной деятельности может не иметь никакого отношения.



Рисунок 1 – Организационно-производственная модель формирования водительского состава легкового такси

Figure 1 – Organizational and production model of the taxi drivers staff formation

Источник: составлено автором
The source: drafted by the author

¹ Schaller Consulting. 8 Keys to Keeping Taxi Issues From Becoming a Political Hot Potato [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.schallerconsult.com/taxi/keys.htm> (дата обращения: 17.02.2020).

² Schaller Consulting. An Uber and Lyft Revolution? [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.schallerconsult.com/rideservices/berkeley.htm> (дата обращения: 17.02.2020).

³ Федеральный закон Российской Федерации N 196-ФЗ от 10.12.1995 «О безопасности дорожного движения» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8585/ (дата обращения: 17.02.2020).

⁴ Федеральный закон Российской Федерации N 69-ФЗ от 21.04.2011 «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8585/ (дата обращения: 17.02.2020).

Подобный порядок организации перевозок легковыми такси открыл доступ в отрасль профессионально неподготовленных водителей. Непрофессионализм, отсутствие знания г. Москвы, зачастую незнание русского языка и элементарных навыков общения с клиентами стали нормой в сфере такси Московской агломерации. По разным оценкам в такси Московской агломерации число иностранцев доходит до 50–60% от общего водительского состава. Агрегаторы зачастую передают заказы лицам, не имеющим права осуществления перевозок, т.е. развивается рынок нелегальных такси. Изложенное положение дел естественным образом отразилось на безопасности перевозок, о чём свидетельствует официальная статистика. Согласно оценкам Аналитического центра при Правительстве РФ доля нелегальных таксомоторных перевозок в РФ в среднем составляет около 16%, а в денежном выражении это составляет 12% объема рынка. По некоторым оценкам, отсутствие «Разрешений», т.е. нелегальные перевозки в такси, в г. Москве в отдельные периоды у некоторых агрегаторов доходит до 30%.

Безопасность пассажирских перевозок и дорожного движения является многофакторной проблемой, однако, водитель автотранспортного средства в сфере такси в Московской агломерации стал определяющим фактором. Надежность водителя и безаварийность наряду с другими условиями обуславливаются в т.ч. качеством нормативно-правового регулирования перевозок.

В исследовании [29] в качестве основных факторов обеспечения безопасности пассажиров определены легальность перевозчика, техническое состояние легкового такси и соблюдение пассажиром требований действующего законодательства. Автором на основе полученных данных констатируется наличие выраженной корреляции между количеством дорожно-транспортных происшествий и уровнем дохода водителей. Установлено, что минимальное удельное количество ДТП приходится на автомобили такси премиум-класса, а максимальное количество на экономкласс. Удельное количество ДТП автомобилей экономкласса превышает премиальный класс в 2,4 раза, а количество ДТП сегмента среднего класса почти в 2,0 раза.

В работе [30] проведен анализ аварийности

перевозок легковыми такси за период 2013–2019 гг. Установлено, что в 56% случаев ДТП с участием автомобилей такси виновниками являются именно водители такси. Разработан перечень основных факторов, приводящих к ДТП, и к основным отнесен фактор «водитель». Около 60% водителей такси, виновных в ДТП, являются индивидуальными предпринимателями. Также анализ показал, что в Московской области 80% водителей, нарушающих правила дорожного движения, являются гражданами РФ, а не зарубежных стран. В свою очередь только 40% водителей из этого числа являются жителями Московской агломерации.

Одной из важнейших проблем сферы такси – правовому статусу водителя такси – посвящена работа [31]. Представляется, что труд водителя такси может регулироваться как трудовым кодексом, так и Гражданским законодательством. Проведенный анализ судебной практики, в том числе зарубежной, показал, что роль владельцев онлайн-платформ (агрегаторов) как минимум не ограничивается информационными услугами. Согласно нашему законодательству, водитель должен быть или наемным работником (трудовые отношения) или в форме ИП. Существующая в настоящее время форма взаимоотношений между водителем, агрегатором и таксопарком не вписывается в действующее законодательство. В работе проведен обширный анализ зарубежных исследований за последние 20 лет, посвященных проблемам правового статуса водителя такси. Научная полемика и попытки практических шагов по видоизменению статуса водителя такси продолжают во всех странах и в РФ.

Анализируя международный опыт организации таксомоторных перевозок, можно заключить, что большинство мегаполисов прошли свой путь по изменению подходов при регулировании рынка таксомоторных перевозок. Не существует единого мирового тренда и единых подходов регулирования и организации таксомоторной отрасли.

Основываясь на анализе международного опыта регулирования такси в мегаполисах, можно констатировать, что к числу основных требований к таксомоторной деятельности относятся требования к водителям и персоналу, а также к системе допуска к профессии^{5,6}. Отдельные требования к водителю такси в некоторых мегаполисах мира приведены в таблице 1.

⁵ Официальный сайт Мэра Лондона, Транспорт для Лондона [Электронный ресурс]. – URL: <https://tfl.gov.uk/> (дата обращения: 17.02.2020).

⁶ Департамент транспорта Нью-Йорка [Электронный ресурс]. – URL: <https://dotsignals.org> (дата обращения: 17.02.2020).

Таблица 1
Оценка требований к водителю такси

Table 1
Evaluation of taxi driver requirements

Показатель	Критерий	Лондон	Нью-Йорк	Сингапур
Требования к водителям	ограничение по возрасту, мин. лет	21	19	30
	экзаменационная система	+	+	+
	наличие специального образования	-	-	+
	отсутствие криминального учета	+	+	+
	наличие лицензии	+	+	+
	требования к внешнему виду	+	-	-

Классический принцип организации регулирования таксомоторных перевозок, заключающийся в организации систем «допуск на рынок» и «допуск к профессии», невозможно организовать без отвечающих самым последним тенденциям информационных систем и ресурсов. Оценивая передовой опыт внедрения подобных систем, в первую очередь необходимо отметить США, Англию, Францию, Германию, Нидерланды, Бельгию и Испанию. Во Франции в 2014 г. принят закон № 2014-1104 «О конкуренции в такси», в частности, согласно этому акту запрещена деятельность Uber без участия предприятий, имеющих разрешения (лицензии) на таксомоторную деятельность. Установлено, что мобильные приложения по заказу такси должны быть внесены в соответствующие реестры и подлежат страхованию профессиональной ответственности.

Аналогичный закон принят в феврале 2015 г. в штате Виргиния (США) относительно требований к мобильным приложениям заказа такси.

Таким образом, очевидно, что передовой тенденцией развития безопасности и совершенствования законодательной базы регулирования такси в международной практике является учет и использование современных информационно-коммуникационных технологий и интернет-ресурсов.

Проведённые исследования оценки рынка легковых такси в Нью-Йорке⁷ показали, что несмотря на большое количество факторов, влияющих на безопасность таксомоторных перевозок, доход водителя является важнейшим. Анализ десятилетних исследований позволил выявить прямую зависимость между показа-

телями аварийности и доходами водителей. Авторы указывают на несколько причин роста числа аварий водителями с низким доходом: финансовое давление приводит к существенным переработкам, усталости, потере концентрации и, соответственно, к ошибкам; превышение установленных ограничений скоростей движения; рискованное вождение и т.д.

В указанном исследовании была проведена сравнительная оценка трёх групп автомобилей такси:

1. Группа 1 – владелец автомобиля является владельцем медальона (лицензии) и водителем такси.

2. Группа 2 – автомобиль передается в долгосрочную аренду, как правило, двум водителям. Один водитель работает днём, а второй ночью.

3. Группа 3 – автомобиль сдаётся в посуточную краткосрочную аренду. Водитель обязан после каждой смены возвращаться в парк и сдавать автомобиль.

Результаты исследования сведены в таблицу 2.

Таблица 2
Количество аварий (за пробег 1 млн миль)

Table 2
Number of accidents (for 1 million miles)

Группа	Количество аварий	Доля автомобилей, %
1	2,3	29
2	3	35
3	4	36

⁷ Schaller Consulting. Higher Pay, Safer Cabbies. An Analysis of the Relationship Between Driver Incomes and Taxi Crashes in New York City [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.schallerconsult.com/taxi/safercabs.pdf> (дата обращения: 17.02.2020).

Эти исследования также показали, что снижение часового дохода водителя такси с 115 долларов до 94 долларов привело к увеличению количества аварий на 16% – с 5,3 до 6,1 на млн миль. Приведенные исследования стали обоснованием предъявления требований к регулятору такси в Нью-Йорке по повышению тарифов на перевозки.

По оценкам⁸ исследования, уровень дорожно-транспортных происшествий классических такси в Нью-Йорке составил 4,6/млн миль против 6,7/млн миль у автомобилей, заказанных через мобильные приложения.

Знаменательным событием для таксомоторного сообщества стало принятие в 2018 г. мэром Нью-Йорка целого ряда законов, согласно которым введены определенные ограничения работы компаний Uber и Lyft. Главным стало установление законом города минимального уровня оплаты водителей в размере 17,22 \$ в час при фактическом уровне в 13,0 \$. Компании-агрегаторы для совершения более 10 поездок в день в Нью-Йорке теперь должны получать лицензию TLC «High Volume For – Hire Service». За нарушение этой нормы предусмотрен штраф 10,0 тыс. \$ за каждый день.⁹

РЕЗУЛЬТАТЫ

Как уже отмечалось, кардинально новый этап регулирования таксомоторной деятельности в нашей стране связан с принятием Федерального закона № 69-ФЗ⁴. Указанным нормативно-правовым актом единственным требованием к водителю легкового такси является наличие стажа не менее 3 лет, а идентификационным признаком законности деятельности такси является «Разрешение» (см. рисунок 1). В г. Москве Департаментом транспорта начиная с 2011 г. был осуществлен перевод сферы нелегального извоза легковыми автомобилями в категорию легальных такси. В настоящее время в столице действует порядка 50 тыс. легальных легковых такси.

Легковые такси являются уникальным транспортом, т.к. это единственный вид перевозок, когда законодательством предусмотрен

устный договор фрахтования транспортного средства. Именно эта особенность определяет деятельность такси как наиболее сложную для государственного регулирования сферу пассажирских перевозок. Нужны специальные нормы и особые механизмы регулирования и контрольно-надзорной деятельности для того, чтобы обеспечить безопасное функционирование системы.

В условиях массового развития информационных технологий методы регулирования такси, заложенные действующим федеральным законодательством, неэффективны. При этом «Разрешение» выдается, как уже указывалось, на транспортное средство, а не на физическое лицо, непосредственно осуществляющее деятельность по перевозке.

Согласно Распоряжению Правительства Российской Федерации № 1-р от 8 января 2018 г., в качестве целевого ориентира на 2024 г. установлен **показатель социального риска**, который должен составлять не более 4 погибших на 100,0 тыс. населения¹⁰. Согласно стандарту Европейского совета по безопасности дорожного движения (ETLC) это составляет 40 погибших на 1 млн жителей.

Проведем сравнительную оценку состояния безопасности перевозок пассажиров легковыми такси.

В таблице 3 приведены данные общего числа погибших в ДТП по РФ и г. Москве¹¹.

Таблица 3
Число погибших в результате ДТП, чел.

Table 3
The number of deaths in road accidents, people

Год	Российская Федерация	Москва
2015	23 114	673
2016	20 308	561
2017	19 088	494
2018	18 214	465
2019	16 981	443

⁸ Schaller Consulting. NYC Cabbies Less Crash-Prone Than Other Drivers [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.schallerconsult.com/taxi/crash06.htm> (Дата обращения: 17.02.2020).

⁹ RTVI. Мэр Нью-Йорка ввел ограничения на деятельность онлайн-сервисов по заказу такси [Электронный ресурс]. – URL: <https://rtvi.com/news/mer-nyu-yorka-vvel-novye-ogranicheniya-na-deyatelnost-onlayn-servisov-po-zakazu-taksi/> (Дата обращения: 17.02.2020).

¹⁰ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 января 2018 года № 1-р «Об утверждении Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 - 2024 годы». [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71760528/> (Дата обращения: 17.02.2020).

¹¹ Госавтоинспекция. Показатели состояния безопасности дорожного движения. – URL: <http://stat.gibdd.ru> (Дата обращения: 17.02.2020).

Анализ таблицы 3 показывает, что за период с 2015 по 2019 г. в среднем число погибших в ДТП в год в Российской Федерации составило 19 541 чел., а в г. Москве – 527 чел.

За период с 2015 по 2019 г. общее число погибших в ДТП в Российской Федерации сократилось на 6 133 чел., т.е. 26,5%. Аналогичный показатель по Москве составляет 230 чел. (34,2 %).

На основе приведенных данных рассчитаем показатели социального риска по РФ и г. Москве (таблица 4).

Таблица 4
Показатели социального риска

Table 4
Social risk indicators

Год	Погибло, чел./100 тыс. жителей	
	РФ	Москва
2015	15,80	5,517
2016	13,86	4,550
2017	13,00	3,990
2018	12,40	3,718
2019	11,57	3,512

Из таблицы 4 видно, что средний показатель социального риска в Российской Федерации составляет 13,33 чел. на сто тысяч жителей, а по городу Москве – 4,26 чел. За период с 2015 по 2019 г. показатель социального риска в Российской Федерации сократился на 4,23 чел./100 тыс. жителей (26,8%). По Москве это составляет 2,01 чел./100 тыс. жителей (36,4%).

Общий уровень смертности на дорогах в Европе в 2018 г. был зафиксирован на уровне 49 чел. на миллион жителей, а в 2010 г. он составлял 63 чел. Евросоюз наметил цель снизить смертность к 2020 г. на 50% по сравнению с 2010 г.,¹² что составляет примерно 30 чел. на миллион жителей. В таблице 5 приведены данные по некоторым странам Европы¹³.

Таблица 5
Число погибших в Европейских странах в 2018 г.
(социальный риск)

Table 5
Number of deaths in European countries in 2018
(social risk)

Страна	Погибло, чел./млн жителей
Норвегия	20
Швейцария	27
Великобритания	30
Сербия	78
Болгария	87
Румыния	96

По сравнению с аварийностью в наиболее передовых странах Западной Европы показатель социального риска в РФ превышает в 4–5 раза. Показатели социального риска в Российской Федерации в 2019 г. величиной 115,7 чел. на млн жителей превышает показатель наиболее неблагоприятной европейской страны Румынии.

Статистика по погибшим в результате ДТП в нашей стране, совершенными водителями легковых такси, приведена в таблице 6.

Таблица 6
Число погибших в ДТП (такси)

Table 6
Number of deaths in a car accident (taxi)

Год	Погибло, чел.				
	РФ	Соц. риск РФ	Москва	Соц. риск Москвы	Превышение Москвы над РФ
2015	104	0,071	12	0,098	138,4%
2016	105	0,072	25	0,203	282,9%
2017	103	0,070	20	0,162	230,2%
2018	94	0,064	26	0,208	324,9%
2019	105	0,072	27	0,214	299,2%

¹² European Transport Safety Council. 13th Annual Road Safety Performance Index (PIN) Report [Электронный ресурс]. – URL: <https://etsc.eu/13th-annual-road-safety-performance-index-pin-report/> (Дата обращения: 17.02.2020).

¹³ RANKING EU PROGRESS ON ROAD SAFETY. 13th Road Safety Performance Index Report [Электронный ресурс]. – URL: https://etsc.eu/wp-content/uploads/AR_2019-Final.pdf (Дата обращения: 17.02.2020).

Данные таблицы 6 позволяют сделать вывод о доле ДТП с участием такси в установленном социальном риске. В среднем в России по числу погибших за 2015–2019 гг. ДТП с участием такси составило 0,52% от установленного социального риска (4 погибших на 100,0 тыс. населения), а в Москве – 4,16%. Это свидетельствует о серьезных проблемах безопасности перевозок легковыми такси в г. Москве.

На рисунках 2 и 3 (источник: составлено автором) приведена динамика изменения последствий ДТП с участием автомобилей такси по России и г. Москве. Прослеживается ежегодная динамика увеличения количества ДТП и раненых. Значения представлены в процентах к абсолютному значению предыдущего года. В г. Москве динамика роста количества ДТП выше, чем по России.

Деграция профессионального уровня водительского состава такси привела к снижению безопасности перевозок пассажиров и естественным образом сопровождалась систематическим снижением их заработной платы.

В исследовании [32] под руководством автора проведена комплексная оценка экономики перевозок легковыми такси в г. Москве. По результатам установлены закономерности зависимости уровня заработной платы водителей такси в г. Москве от различных факторов.

Согласно действующему порядку, нормальная продолжительность ежедневной работы

водителя такси не может превышать 8 ч, а для работающих по календарю шестидневной недели с одним выходным днем – 7 ч. Водителям возможно установление суммарного учета рабочего времени в расчете на месяц. Тогда продолжительность ежедневной смены не может превышать 10 ч [32].

Калькуляция себестоимости перевозок легковым такси имеет следующий вид:

$$S = Z_{м.р.} + P_{фот} + A + Z_{п.р.},$$

где $Z_{м.р.}$ – затраты на материальные ресурсы; $P_{фот}$ – расходы на оплату труда; A – амортизация на восстановление основных средств и нематериальных активов; $Z_{п.р.}$ – прочие расходы, в том числе отчисления во внебюджетные фонды, аренда, лизинговые платежи, оплата процентов и услуг.

Расчёты показали [32], что при минимальном уровне рентабельности 5%, соблюдение режима труда и отдыха, установленного уровня заработной платы водителей такси средняя часовая ставка с учетом комиссии агрегаторов составляет более 1000 руб.

Стоимостное выражение минимальной тарифной ставки (T_m – тариф на одну минуту поездки, $T_{км}$ – тариф на 1 км поездки) вычисляются по формулам:

$$T_m = \frac{B_{ср.ч.}}{N_{мин}},$$

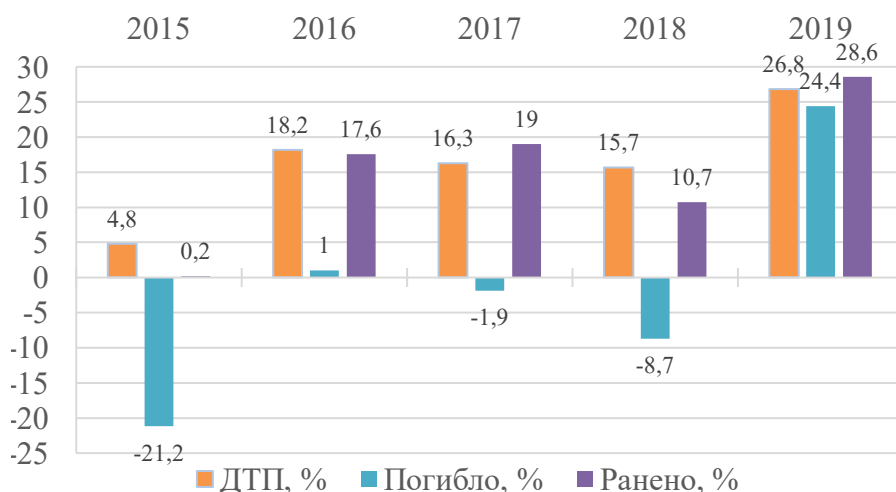


Рисунок 2 – Характеристика ДТП с участием легковых такси в РФ

Figure 2 – Accident characteristics involving taxis in Russia

Источник: составлено автором
The source: drafted by the author

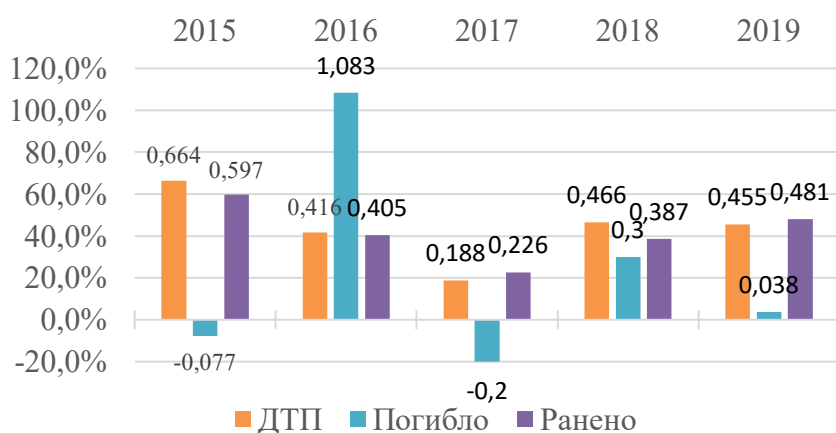


Рисунок 3 – Характеристика ДТП с участием легковых такси в г. Москве

Figure 3 – Accident characteristics involving taxis in Moscow

Источник: составлено автором
The source: drafted by the author

где $V_{\text{ср.ч.}}$ – среднечасовая выручка автомобиля такси; $N_{\text{мин}}$ – количество «платных» минут работы в такси за один час.

$$T_{\text{км}} = \frac{V_{\text{ср.ч.}}}{N_{\text{км}}},$$

где $V_{\text{ср.ч.}}$ – среднечасовая выручка автомобиля такси; $N_{\text{км}}$ – количество «платных» километров пробега такси за один час. В результате выполненных исследований [32] были установлены зависимости уровня заработной платы водителей от средней выручки и продолжительности смены (рисунки 4 и 5).

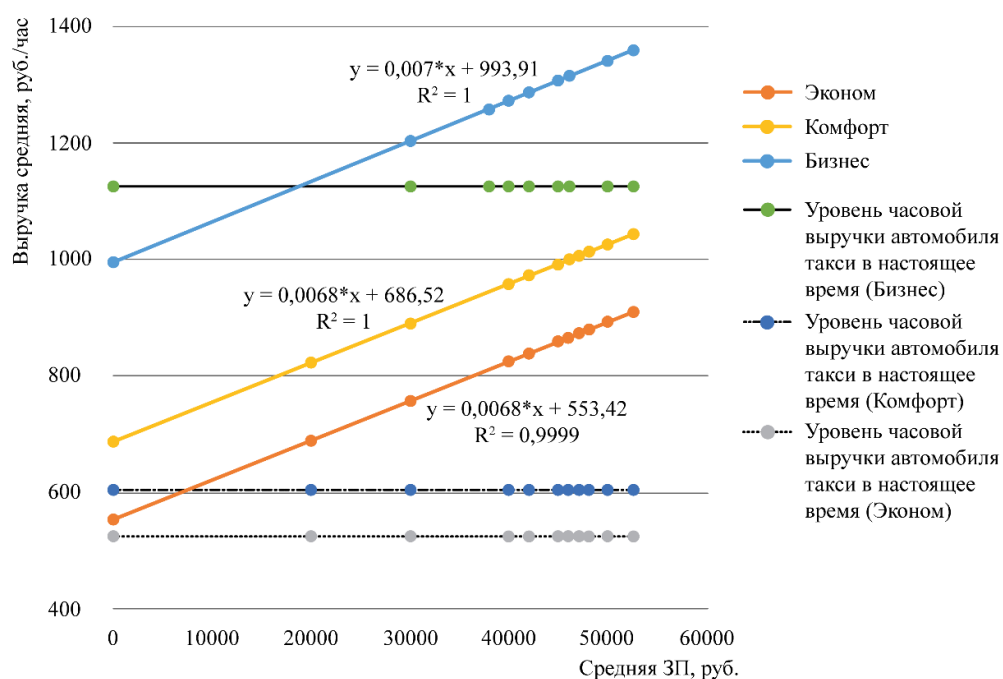


Рисунок 4 – Динамика уровня заработной платы водителя такси в зависимости от выручки

Figure 4 – Dynamics of a taxi driver's salary level

Источник: составлено автором
The source: drafted by the author

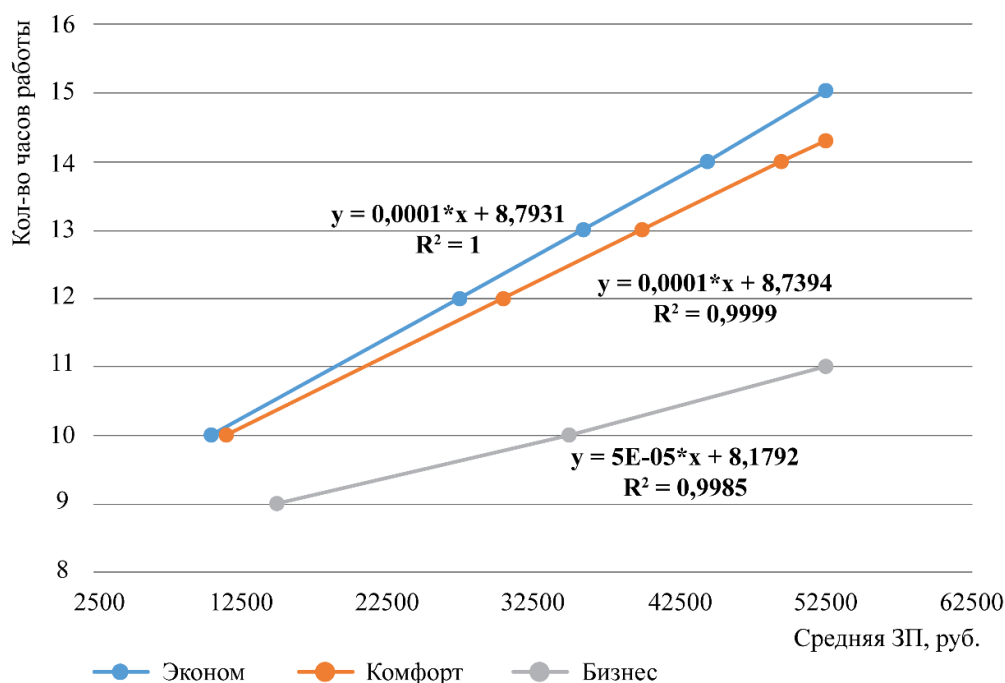


Рисунок 5 – Динамика уровня заработной платы водителя такси в зависимости от продолжительности работы

Figure 5 – Dynamics of taxi driver's salary level depending on work duration

Источник: составлено автором
The source: drafted by the author

Анализ полученных результатов в [32] показал, что существующий уровень тарифов и, соответственно, часовая выручка не позволяют при соблюдении режимов труда и отдыха обеспечить установленную среднюю заработную плату для водителей в г. Москве. Действующие на рынке таксомоторных перевозок тарифы от агрегаторов можно квалифицировать как опасные и приводящие к физической и психологической перегрузке водителей и аварийным рискам.

Согласно выполненным расчетам установленный уровень заработной платы для тарифного плана «эконом» возможен только при 17 ч; для «комфорта» – 18 ч, а «бизнеса» – 13 ч работы на линии [32].

Действующие уровни тарифов напрямую приводят к нарушению режима труда и отдыха. Повсеместное нарушение в погоне за приемлемой заработной платой приводит к увеличению числа и тяжести ДТП.

Появление агрегаторов заказа такси стало революционной трансформацией рынка

таксомоторных перевозок. По оценкам исследователей,¹⁴ количество поездок на такси в г. Москве в 2012 г. составляло 28 млн. Установлено, что если бы система легкового такси регулировалась по старой технологии (без присутствия агрегаторов), то в 2019 г. объем перевозок составил бы 72 млн. Однако благодаря мобильным приложениям агрегаторов объем перевозок в 2019 г. составил 324 млн, т. е. прирост в 252 млн поездок.

Объем рынка в 2019 г. составил 157,3 млрд руб., что на 121,1 млрд руб. больше, чем если бы рынок развивался без агрегаторов.

По оценкам¹⁴ выручка водителя такси в день в 2019 г. составила 5 340 руб., что на 642 руб. меньше, чем если бы перевозки осуществлялись без агрегаторов.

Реальный доход водителя составил в 2019 г. 1 382 руб. и потерял он 1 277 руб. из-за наличия в системе агрегаторов. За 10 лет доля дохода водителя в структуре выручки сократилась с 72 до 23%, а расходы на аренду автомобиля и комиссии выросли в 3,5 раза, с 18 до 63%.

¹⁴ Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики. Рынок такси нуждается в госрегулировании [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hse.ru/news/expertise/344830966.html> (дата обращения: 05.03.2020).

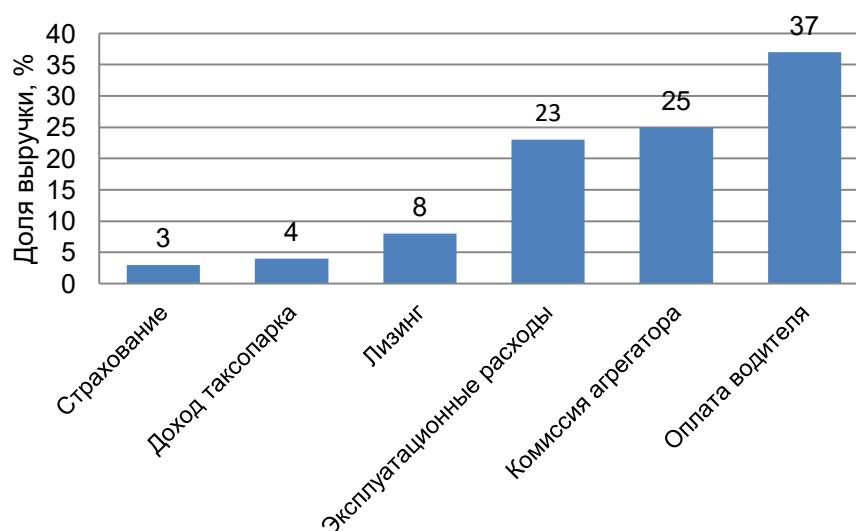


Рисунок 6 – Структура расходов выручки водителя такси

Figure 6 – Structure of taxi driver's expenses

Источник: составлено автором

The source: drafted by the author

Комиссия агрегатора с 2,75% в 2012 г. возросла в среднем до 25,03% в 2019 г.¹⁴. По результатам этого исследования в целом установлено, что 25% стоимости поездки получает агрегатор, а 47% владелец парка такси. По сравнению с 2012 г. водитель получает чистый доход в 2,5 раза меньше, из среднего чека в 484 руб. всего получает 135 руб.

Согласно оценкам экспертов лизинговой компании «Европлан» заработная плата водителя такси составляет порядка 37% от выручки, что составляет всего порядка 25 тыс. руб. в месяц. (рисунок 6)¹⁵. Из приведенных данных видно, что четверть выручки уходит на оплату комиссии агрегатору. По этой причине водителям такси приходится перерабатывать, чтобы получить сопоставимый доход с водителями автобусов¹⁵.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ выполненных исследований показывает, что революционное развитие таксомоторных перевозок с появлением агрегаторов и мобильных приложений привело к ряду серьезных общесистемных проблем. В условиях измененной бизнес-модели роль регулятора тарифов практически перешла к владельцам онлайн-платформ – агрегаторам. В погоне за

увеличением клиентуры агрегаторы поэтапно стали снижать тарифы и одновременно повышать комиссию за свои услуги. В результате этих изменений значительно снизилась заработная плата водителей. Это привело к оттоку профессионалов из системы и притоку непрофессиональных водителей с низкой оплатой труда. Как следствие, это обстоятельство стало причиной увеличения аварийности в сфере такси в Московской агломерации и усугублению степени тяжести последствий в результате ДТП. Значительные переработки и нарушения режима труда и отдыха водителями стали «нормой» для таксомоторного рынка Московской агломерации. При положительных тенденциях в повышении безопасности в целом на автомобильном транспорте проведенное исследование показало деградацию в сфере таксомоторных перевозок. Выявлены ключевые факторы действующей системы регулирования таксомоторных перевозок, «способствующие» снижению уровня аварийности и тяжести происшествий.

По результатам исследований разработана и предлагается блок-схема основных положений совершенствования системы государственного регулирования таксомоторных перевозок в РФ (рисунок 7).

¹⁵ РИА Новости. Эксперты подсчитали средний заработок московских таксистов [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20200211/1564529624.html> (дата обращения: 05.03.2020).

Регулятор	Государство	Субъект РФ	Агрегатор	Владелец ТС (юридическое лицо, ИП)	Водитель
Предмет регулирования					
1. Разрешительная система: агрегатор, юридическое лицо, ИП, водитель, транспортное средство	+	+	-	-	-
2. Тарифное регулирование	+	+	-	+	-
3. Требования к водителю (допуск к профессии)	+	+	-	-	-
4. Требования к юр. лицам и ИП (допуск на рынок)	+	+	-	-	-
5. Требования к медосмотру (телемедицина)	+	-	-	-	-
6. Требования к техническому состоянию ТС	+	-	-	-	-
7. Страхование	+	-	-	-	-
8. Формирование трудовых отношений с водителем	+		+	+	+
9. Статус водительских удостоверений	+	-	-	+	+
10. Требования к географическо-территориальным ограничениям деятельности	+	+	-	-	-
11. Требования к дополнительному оборудованию транспортных средств и цвету	+	+	-	-	-

Рисунок 7– Блок-схема регулирования организации таксомоторных перевозок

Figure 7 – Block diagram of taxi services regulation

Источник: составлено автором
The source: drafted by the author

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная по результатам исследования система коренной модернизации регулирования сферы такси позволит установить правовой статус и ответственность агрегаторов за безопасность перевозок пассажиров. Это в корне изменит процедуру распределения заказов и исключит подключение к перевозкам нелегалов.

Разрешительная система допуска служб заказа легковых такси (агрегаторов) к осуществлению деятельности, основанная на требованиях к субъектам предпринимательской деятельности и их мобильным платформам, исключит тарифное регулирование. Агрегаторы будут обязаны в свободном доступе разместить для потенциальных фрахтователей полное меню по тарифам на перевозку пассажиров. Фрахтователь при заказе услуги на перевозку должен иметь право и возможность выбора из общего «меню» агрегатора приемлемый для себя тариф.

Разработка и внедрение на федеральном уровне цифрового профиля водителя легкового такси и цифрового профиля транспортного средства, предназначенного для перевозок легковыми такси, обеспечат контроль за соблюдением режима труда и отдыха водителей такси в соответствии с действующими требованиями.

Установление требований к водителям легковых такси и транспортным средствам позволит установить процедуры «допуска к профессии» водителей легкового такси и «допуска на рынок» компаний и ИП.

Органы власти субъектов РФ на основе цифровых профилей водителей легковых такси и транспортных средств, предназначенных для перевозок легковыми такси, будут обязаны создать региональные реестры водителей и транспортных средств в соответствии с установленными требованиями.

В настоящее время у каждого агрегатора свой классификатор транспортных средств, и они по своему усмотрению включают и исключают транспортные средства из более эффективных тарифных сеток.

Органы власти субъектов РФ на основе цифрового профиля транспортных средств смогут утверждать публичный реестр тарифной классификации автомобилей такси. Агрегаторы будут обязаны допускать транспортные средства из реестра к той тарифной сетке, в которой они зарегистрированы у регулятора.

Органы власти субъектов РФ должны нести солидарную ответственность за тарифное регулирование перевозок легковыми такси на своей территории.

С целью обеспечения трудового статуса водителя такси предполагается запрет арендных отношений и передачу в аренду транспортных средств для использования в качестве легковых такси.

Требуется запретить допуск водителей с иностранными водительскими удостоверениями к управлению легковыми такси на территории РФ.

Согласно статье 36.2. Федерального закона от 21.11.2011 г. №323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» необходимо разрешить дистанционный (удаленный) предрейсовый и послерейсовый медицинский осмотр водителей такси.

Перевозка легковыми такси – единственный вид перевозок пассажиров, на который не распространяется действие Федерального закона от 14 июня 2012 г. № 67-ФЗ. В настоящее время пострадавший пассажир такси может рассчитывать только на компенсацию по договору обязательного страхования гражданской ответственности владельцев транспортных средств, максимальная выплата по которому составляет 500 тыс. руб. При этом выплата за причинение вреда жизни пассажира при перевозках, осуществляемых, например, автобусом или троллейбусом, составляет 2 млн руб.

По результатам рассмотрения в 2018 г. законопроекта № 428641-7. Государственной Думой принято решение принять его в первом чтении. Однако дальнейших действий пока не последовало.

Принятие комплексных положений по кардинальному изменению существующей системы государственного регулирования таксомоторных перевозок существенно повысит безопасность перевозок пассажиров, позволит снизить уровень ДТП и тяжесть их последствий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мороз Д. Г. О проблеме организации стоянок и работе диспетчерских служб заказов такси в Москве // Мир транспорта. 2019. Т. 17, № 3 (82). С. 152–169.
2. Блудян Н. О., Мороз Д. Г., Шестопапов Н. Ю. Оценка и выбор типа транспортного средства для таксомоторных перевозок // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2018. № 3 (54). С. 115–121.
3. Блудян Н. О. Новая система управления и требования к автомобильной технике для такси // Грузовик. 2017. С. 14–20.
4. Блудян Н. О. Оценка влияния качества нормативно-правового регулирования на обеспечение безопасности таксомоторных перевозок // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2016. № 4 (47). С. 117–123.
5. Якунин Н.Н., Суханова А.И., Якунина Н.В. Научное обоснование нормирования показателей деятельности легковых такси // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2017. № 11. С. 67–70.
6. Якунин, Н.Н., Суханова А.И., Котов В.В. Исследование закономерностей перевозок пассажиров легковыми такси // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2017. №2. С. 54–58.
7. Добровольская, А.А. Разработка предложений по обеспечению безопасности перевозок пассажиров и багажа легковыми такси на территории Санкт-Петербурга // Устойчивое развитие науки и образования. 2019. № 7. С. 115–120.
8. Травкина Е.А. Оценка уровня конкурентоспособности такси // Научный электронный журнал «Меридиан». 2020. № 9 (43). С. 93–95.
9. Мишина Ю.В. Некоторые вопросы административно-правового регулирования деятельности легковых такси // Сибирское юридическое обозрение. 2020. Т. 17, № 1. С. 116–122.
10. Путинцева, Д.А. Актуальные проблемы законодательного регулирования деятельности такси в Российской Федерации и зарубежных странах // Теоретические и практические аспекты развития науки и образования в современном мире. 2017. С. 261–267.
11. Ефимова О.В., Крысова И.В. Анализ закона Пуассона и нормального закона распределения заявок в службе такси // Информационные технологии в науке и производстве // Материалы IV Всероссийской молодежной научно-технической конференции. 2017. С. 152–155.
12. Кирилюк М.А., Антонян Л.С., Чумак Б.Б. Информационная система обработки заказов такси // Научный альманах. 2018. № 5–2 (43). С. 43–47.
13. Askari S. et al. Determinants of users' perceived taxi service quality in the context of a developing country // Transportation Letters. 2020. Vol 2020-Jan. Pp. 1–13. <https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1714844>.
14. Mehri M., Khazaee-Pool M., Arghami S. Phenomenology of being a safe taxi driver // BMC public health. 2019. Vol. 19. № 1. pp. 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-8106-1>.
15. Wang Y., Li L., Prato C. G. The relation between working conditions, aberrant driving behaviour and crash propensity among taxi drivers in China // Accident Analysis & Prevention. 2019. Vol. 126. Pp. 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.03.028>.
16. Meng F. et al. Temporal patterns of driving fatigue and driving performance among male taxi drivers in Hong Kong: A driving simulator approach // Accident Analysis & Prevention. 2019. Vol. 125. – Pp. 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.01.020>.
17. Chung Y. Injury severity analysis in taxipeDESTRIAN crashes: An application of reconstructed crash data using a vehicle black box // Accident Analysis & Prevention. 2018. Vol. 111. Pp. 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.10.016>.

18. Boutueil V., Quillerier T., Voskoboynikova A. Benefits and Pitfalls of Deregulating Taxi Markets: Can Contrasted Case Studies Help Inform the Debate? // *Transportation Research Record*. 2019. Vol. 2673. №. 11. Pp. 726–736. <https://doi.org/10.1177/0361198119847974>.

19. Li M. K. et al. Modeling and mitigating fatigue-related accident risk of taxi drivers // *Accident Analysis & Prevention*. 2019. Vol. 123. Pp. 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.11.001>.

20. Sham R. et al. Safety Indicator for Taxi Users in Urban Area // *International Journal of Supply Chain Management*. 2019. Vol. 8. №. 2. Pp. 1035–1041.

21. Havârneanu C. E., Măirean C., Popușoi S. A. Workplace stress as predictor of risky driving behavior among taxi drivers. The role of job-related affective state and taxi driving experience // *Safety science*. 2019. Vol. 111. Pp. 264–270. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.07.020>.

22. Morrison P. S. Restructuring effects of deregulation: the case of the New Zealand taxi industry // *Environment and planning A*. 1997. vol. 29. №. 5. pp. 913–928. <https://doi.org/10.1068/a290913>.

23. Chung Y. Injury severity analysis in taxi-pedestrian crashes: An application of reconstructed crash data using a vehicle black box // *Accident Analysis & Prevention*. 2018. Vol. 111. Pp. 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.10.016>.

24. Zheng Z., Rasouli S., Timmermans H. Modeling taxi driver anticipatory behavior // *Computers, Environment and Urban Systems*. 2018. Vol. 69, Pp. 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.compenurbsys.2018.01.008>.

25. Fan J. et al. Analysis of taxi driving behavior and driving risk based on trajectory data // 2019 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). IEEE, 2019. Pp. 220–225.

26. Li M. K. et al. Modeling and mitigating fatigue-related accident risk of taxi drivers // *Accident Analysis & Prevention*. 2019. Vol. 123. Pp. 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.11.001>.

27. Mehdizadeh M., Shariat-Mohaymany A., Nordfjaern T. Driver behaviour and crash involvement among professional taxi and truck drivers: Light passenger cars versus heavy goods vehicles // *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*. 2019. Vol. 62. Pp. 86–98. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.12.010>.

28. Wong R. C. P., Szeto W. Y. An alternative methodology for evaluating the service quality of urban taxis // *Transport Policy*. 2018. Vol. 69. Pp. 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.05.016>.

29. Жидкова М.А. Анализ влияния тарифной политики таксомоторных компаний на уровень безопасности перевозок / М.А. Жидкова // Двадцать первые апрельские экономические чтения: материалы междунар. научно-практ. конф. Омск: Омский филиал Финуниверситета, 2015. С. 17–22.

30. Горбатенко Д.С. Безопасность эксплуатации автомобильного транспорта, используемого в режиме легкового такси // Научно-Технический Вестник Поволжья. Издательство: Общество с ограниченной ответственностью «Рашин Сайнс», Казань. 2020. С. 13–15.

31. Зайцева Л.В., Митрясова А.С. Труд водителей такси на основе интернет-платформ: отдельные вопросы правового регулирования // Вестник Томского государственного университета. 2018. №435. С. 244–250.

32. Блудян Н.О., Мороз Д.Г. Опасные для людей тарифы такси // Мир транспорта. 2018. Т. 16, № 6 (79). С. 76–87.

REFERENCES

1. Moroz, D.G., Bludyan, N.O., Alekseyuk, S.S., Ajriev, R.S. O probleme organizatsii stoyanok i rabote dispetcherskih sluzhb zakazov taksi v Moskve [The problem of parking and taxi-ordering services in Moscow]. *Mir transporta*. 2019; 3 (82): 152–169. (in Russian)

2. Bludyan, N.O., Moroz, D.G. and Shestopalov, N.Yu. Ocenka i vybor tipa transportnogo sredstva dlya taksomotornyh perevozok [Evaluation and selection of vehicle type for taxi transport]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*. 2018; 3 (54): 115–121. (in Russian)

3. Bludyan, N.O. Novaya sistema upravleniya i trebovaniya k avtomobil'noj tekhnike dlya taksi [New control system and requirements for taxi equipment]. *Gruzovik*, 2017. 14–20. (in Russian)

4. Bludyan, N.O. Ocenka vliyaniya kachestva normativno-pravovogo regulirovaniya na obespechenie bezopasnosti taksomotornyh [Assessing the impact of regulatory quality on taxi safety]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*. 2016; 4 (47): 117–123. (in Russian)

5. Yakunin N.N., Suxanova A.I., Yakunina N.V. Nauchnoe obosnovanie normirovaniya pokazatelej deyatel'nosti legkovykh taksi [Scientific rationale for rationing passenger taxi performance indicators]. *Intellekt. Innovacii. Investicii*. 2017; 11: 67–70. (in Russian)

6. Yakunin N.N., Suxanova A.I., Kotov V.V. Issledovanie zakonomernostej perevozok passazhirov legkovymi taksi [Study of the regularities of passenger transportation by taxis]. *Intellekt. Innovacii. Investicii*. 2017; 2: 54–58. (in Russian)

7. Dobrovol'skaya A.A. Razrabotka predlozhenij po obespecheniyu bezopasnosti perevozok passazhirov i bagazha legkovymi taksi na territorii Sankt-Peterburga [Development of proposals to ensure the safety of passenger and luggage transportation by taxi in St. Petersburg]. *Ustojchivoe razvitie nauki i obrazovaniya*. 2019; 7: 115–120. (in Russian)

8. Travkina E.A. Ocenka urovnya konkurentosposobnosti taksi [Assessment of taxi competitiveness]. *Nauchnyj e'lektronnyj zhurnal "Meridian"*. 2020; 9(43): 93–95. (in Russian)

9. Mishina, Yu.V. Nekotorye voprosy administrativno-pravovogo regulirovaniya deyatel'nosti legkovykh taksi [Some issues of administrative and legal regulation of passenger taxi activity]. *Sibirskoe yuridicheskoe obozrenie*. 2020; 1: 116–122. (in Russian)

10. Putinceva, D.A. Aktual'nye problemy zakonodatel'nogo regulirovaniya deyatel'nosti taksi v Rossijskoj Federacii i zarubezhnykh stranah [Actual problems of legislative regulation of taxi activity in the

Russian Federation and foreign countries]. *Teoreticheskie i prakticheskie aspekty razvitiya nauki i obrazovaniya v sovremennoy mire*. 2017. 261–267. (in Russian)

11. Efimova O.V., Kry'sova I.V. Analiz zakona Puassona i normal'nogo zakona raspredeleniya zayavok v sluzhbe taksi [Analysis of the Poisson Law and the Normal Law of taxi applications]. *"Informacionny'e tekhnologii v nauke i proizvodstve materialy" IV Vserossiyskoj molodezhnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. 2018. 152–155. (in Russian)

12. M.A. Kirilyuk, L.S. Antonyan, B.B. Chumak. Informacionnaya sistema obrabotki zakazov taksi [Information system for processing taxi orders]. *Nauchnyj al'manax*. 2018; 5-2 (43): 23–27. (in Russian)

13. Askari S. et al. Determinants of users' perceived taxi service quality in the context of a developing country, *Transportation Letters*, 2020. 1–13. <https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1714844>.

14. Mehri M., Khazaei-Pool M., Arghami S. Phenomenology of being a safe taxi driver. *BMC public health*. 2019; 19(1): 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-8106-1>.

15. Wang Y., Li L., Prato C. G. The relation between working conditions, aberrant driving behaviour and crash propensity among taxi drivers in China. *Accident Analysis & Prevention*. 2019; 126: 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.03.028>.

16. Meng F. et al. Temporal patterns of driving fatigue and driving performance among male taxi drivers in Hong Kong: A driving simulator approach. *Accident Analysis & Prevention*. 2019; 125: 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.01.020>.

17. Chung Y. Injury severity analysis in taxi-pedestrian crashes: An application of reconstructed crash data using a vehicle black box. *Accident Analysis & Prevention*. 2018; 111: 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.10.016>.

18. Boutueil V., Quillerier T., Voskoboinikova A. Benefits and Pitfalls of Deregulating Taxi Markets: Can Contrasted Case Studies Help Inform the Debate? *Transportation Research Record*. 2019; 2673 (11): 726–736. <https://doi.org/10.1177/0361198119847974>.

19. Li M. K. et al. Modeling and mitigating fatigue-related accident risk of taxi drivers. *Accident Analysis & Prevention*. 2019; 123: 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.11.001>.

20. Sham R. et al. Safety Indicator for Taxi Users in Urban Area. *International Journal of Supply Chain Management*. 2019; 8(2): 1035–1041.

21. Havârneanu C. E., Măirean C., Popușoi S. A. Workplace stress as predictor of risky driving behavior among taxi drivers. The role of job-related affective state and taxi driving experience. *Safety science*. 2019; 111: 264–270. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.07.020>.

22. Morrison P. S. Restructuring effects of deregulation: the case of the New Zealand taxi industry. *Environment and planning A*. 1997; 29(5): 913–928. <https://doi.org/10.1068/a290913>.

23. Chung Y. Injury severity analysis in taxi-pedestrian crashes: An application of reconstructed crash data using a vehicle black box. *Accident Analysis & Prevention*. 2018; 111: 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.10.016>.

24. Zheng Z., Rasouli S., Timmermans H. Modeling taxi driver anticipatory behavior. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2018; 69: 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.01.008>.

25. Fan J. et al. Analysis of taxi driving behavior and driving risk based on trajectory data. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, IEEE. 2019. 220–225.

26. Li M. K. et al. Modeling and mitigating fatigue-related accident risk of taxi drivers. *Accident Analysis & Prevention*. 2019; 123: 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.11.001>.

27. Nordfjaern T. Driver behaviour and crash involvement among professional taxi and truck drivers: Light passenger cars versus heavy goods vehicles. *Transportation research part F: traffic psychology and behavior*. 2019; 62: 86–98. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.12.010>.

28. Wong R. C. P., Szeto W. Y. An alternative methodology for evaluating the service quality of urban taxis, *Transport Policy*. 2018; 69: 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.05.016>.

29. Zhidkova, M.A. Analiz vliyaniya tarifnoj politiki taksomotornyh kompanij na uroven' bezopasnosti perevozok [Analysis of taxi tariff policies impact on transport safety] *Dvadczat' pervy'e aprel'skie e'konomicheskie chteniya: materialy mezhdunar. nauchno-prakt. konf.* 2015. 17–22. (in Russian)

30. Gorbatenko D.S. Bezopasnost' ekspluatatsii avtomobil'nogo transporta, ispol'zuemogo v rezhime legkovogo taks [Safety of car operation in passenger taxi mode] *Nauchno-Tekhnicheskij Vestnik Povolzh'ya Izdatel'stvo: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «Rashin Sajns»*, 2020. 13–15. (in Russian)

31. Zajceva L.V., Mitryasova A.S. Trud voditelej taksi na osnove internet-platform: otdel'nye voprosy pravovogo regulirovaniy [Taxi drivers work on the basis of Internet-platforms: separate issues of legal regulation]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2018; 435: 244–250. (in Russian)

32. Bludyan, N.O. and Moroz, D.G. Opasnye dlya lyudej tarify taksi [Dangerous taxi fares]. *Mir transporta*. 2018; 16, 6 (79): 76–87. (in Russian)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Блудян Нора́йр Оганесович – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Автомобильные перевозки» ФГБОУ ВО МАДИ (125319, г. Москва, Ленинградский просп., 64), Директор Ассоциации «ТАМА» (121170, г. Москва, ул. Дениса Давыдова, 2, e-mail: np-tama@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Norayr Oganessovich Bludyan – Dr. of Sci., Professor, the Head of the Road Transportation Department of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) (125319, Moscow, Leningradsky Prospekt, 64), Director of TAMA Association (121170, Moscow, Denis Davydov, 2, e-mail: np-tama@mail.ru).

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИОРИТЕТА ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА

Е.В. Фомин, В.А. Зеер, Е.С. Арефьева, Н.В. Голуб
Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В последнее время в крупных и средних городах увеличение загрузки магистралей усугубляется ростом автомобилизации и отсутствием развития улично-дорожной сети. Повышение интенсивности движения транспортных средств до критического уровня приводит к превышению пропускной способности магистралей и, как следствие, – увеличению уровня задержки. Одной из самых уязвимых групп в этом отношении является городской массовый пассажирский транспорт общего пользования. Для разгрузки улично-дорожной сети города необходимо снизить уровень автомобильного трафика. Одним из эффективных мероприятий направленных на решение этой проблемы является задача повышения привлекательности городского массового пассажирского транспорта, т. е. обеспечение достаточного уровня обслуживания пассажиров, который, в том числе, складывается, и из высокой скорости сообщения, повышение которой возможно путем предоставления приоритета движению автобусов. Одним из перспективных направлений выделения приоритета городскому транспорту общего пользования является обустройство отдельных полос или улиц для движения только подвижного состава городского транспорта. Из-за отсутствия критериев, в соответствии с которыми необходимо выделять отдельные полосы для движения подвижного состава городского транспорта, они стали появляться в подавляющем большинстве на магистральных улицах города. Появилось большое количество городских магистралей, используемых для работы только одного маршрута движения городского транспорта общего пользования, с организацией на них выделенных полос. Необходимость таких организационных мероприятий вызывают сомнения. Следовательно, необходимо сформулировать критерии, которые обосновывают необходимость выделения отдельной полосы движения городского пассажирского транспорта на заданном перегоне маршрутной сети города. Таким образом, целью настоящей работы является выявление закономерностей между параметрами транспортных потоков и параметрами программы перевозок городского пассажирского транспорта общего пользования, на основе которых будут сформулированы критерии необходимости выделения отдельной полосы для движения городского наземного транспорта на каждом отдельно взятом перегоне маршрутной сети.

Материалы и методы. В данной статье рассмотрена методика определения необходимости выделения отдельной полосы для движения городского пассажирского транспорта общего пользования на заданном участке улично-дорожной сети. Для повышения качества перевозок пассажиров разработана математическая модель, в основу которой положены такие показатели, как уровень задержки транспортного потока и доля величины пассажирского потока в общем потоке участников движения.

Результаты. Сформулированы необходимые условия, строгое выполнение которых определяет необходимость обеспечения приоритета городского массового пассажирского транспорта общего пользования на рассматриваемом участке улично-дорожной сети города.

Обсуждение и заключение. Полученные зависимости позволяют определить необходимость обеспечения приоритета городского транспорта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: выделенная полоса, приоритет городского транспорта, пассажирские потоки, транспортные задержки.

Поступила 20.05.2020, принята к публикации 30.06.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Фомин Е.В., Зеер В.А., Арефьева Е.С., Голуб Н.В. Обеспечение приоритета городского пассажирского транспорта общего пользования на улично-дорожной сети города. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-390-399>

© Фомин Е.В., Зеер В.А., Арефьева Е.С., Голуб Н.В.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-390-399>

ENSURING PRIORITY FOR PUBLIC URBAN PASSENGER TRANSPORT ON URBAN STREETS AND ROAD NETWORK

E. V. Fomin, V. A. Zeer, E. S. Arefieva, N. V. Golub
Siberian Federal University,
Krasnoyarsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. Recently, in large and medium-sized cities, the increase in traffic has been exacerbated by the growth of motorization and the lack of development of the road network. Increasing vehicle traffic to a critical level leads to overcapacity of the arteries and, as a consequence, increases the level of delay. Public urban mass passenger transport is one of the most vulnerable groups in this regard.

In order to unload the city's street network, it is necessary to reduce the level of road traffic. One of the effective measures to deal with this problem is to increase the attractiveness of urban mass passenger transport, i.e. to ensure an adequate level of service for passengers including high speed, which can be increased by giving priority to bus traffic.

One of the prospects for prioritizing public urban transport is the development of individual lanes or streets for urban rolling stock only. Due to the lack of criteria for the allocation of separate lanes for urban rolling stock, they have begun to appear in the vast majority on the main streets of the city. There are a large number of urban highways used for the operation of only one public transport route with dedicated lanes on them. The need for such arrangements is questionable. It is therefore necessary to formulate the criteria that justify the need for a separate urban passenger lane on a given stretch of the city network.

Thus, the purpose of this work is to identify patterns between traffic parameters and the parameters of the urban public passenger transport programme, which will determine the criteria for the need for a separate lane for urban land transport on each individual stretch of the network.

Materials and methods. This article deals with the method of determining the need for a separate lane for public urban passenger transport on a given stretch of the road network. In order to improve the quality of the transport of passengers, a mathematical model has been developed, based on such indicators as the level of traffic delay and the share of passenger traffic in the total flow of participants.

Results. The necessary conditions have been laid down the strict implementation of which determines the need to ensure the priority of urban mass public passenger transport on the section of the city's street network under consideration.

Discussion and conclusion. The dependencies obtained make it possible to identify the need to ensure the priority of urban transport.

KEYWORDS: dedicated lane, priority of urban transport, passenger flows, transport delays.

Submitted 20.05.2020, revised 30.06.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

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

For citation: Fomin E. V., Zeer V. A., Arefieva E. S., Golub N. V. Ensuring priority for public urban passenger transport on urban streets and road network. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-390-399>

© Fomin E. V., Zeer V. A., Arefieva E. S., Golub N. V.



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

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в крупных и средних городах увеличение загрузки магистралей усугубляется ростом автомобилизации и отсутствием развития улично-дорожной сети. Повышение интенсивности движения транспортных средств до критического уровня приводит к превышению пропускной способности магистралей и, как следствие, – увеличению уровня задержки. Одной из самых уязвимых групп является городской массовый пассажирский транспорт общего пользования.

Для разгрузки улично-дорожной сети города необходимо снизить уровень автомобильного трафика. Одним из эффективных мероприятий, направленных на решение этой проблемы, является задача повышения привлекательности городского массового пассажирского транспорта, т. е. обеспечение достаточного уровня обслуживания пассажиров, в том числе складывающегося из высокой скорости сообщения, повышение которой возможно путем предоставления приоритета движению автобусов.

Одним из перспективных направлений выделения приоритета городскому транспорту общего пользования является обустройство отдельных полос или улиц для движения только подвижного состава городского транспорта. В Красноярске первые выделенные полосы для движения городского транспорта общего пользования появились в конце девяностых годов прошлого столетия. На центральных улицах города появилась соответствующая разметка и дорожные знаки. Однако должного эффекта вышеперечисленные мероприятия не принесли. Причина тому – массовое нарушение правил дорожного движения водителями транспортных средств, принадлежащих индивидуальным владельцам и таксомоторным компаниям. Большая часть проезжей части, выделенная для движения городского пассажирского транспорта общего пользования, эксплуатировалась в режиме парковочного пространства. Соответственно, водители автобусов были вынуждены двигаться по другим полосам движения. Также проблема усугублялась отсутствием контроля со стороны администрации города за регулярностью движения городского пассажирского транспорта. «В погоне за рублем» водители городского пассажирского транспорта были вынуждены нарушать скоростной режим, установленный правилами дорожного движения, подвергая опасности пассажиров.

С появлением комплексов видеофиксации нарушений правил дорожного движения и комплексов контроля регулярности движения подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования ситуация в корне изменилась. Полосы, выделенные для движения городского транспорта, стали использоваться по назначению. Из-за отсутствия критериев, в соответствии с которыми необходимо выделять отдельные полосы для движения подвижного состава городского транспорта, они стали появляться в подавляющем большинстве на магистральных улицах города. Появилось большое количество городских магистралей, используемых для работы только одного маршрута движения городского транспорта общего пользования, с организацией на них выделенных полос. Необходимость таких организационных мероприятий вызывают сомнения, поэтому на части улиц города Красноярска выделенные полосы для движения городского пассажирского транспорта периодически отменяют. Следовательно, нужны критерии, которые обосновывают необходимость выделения отдельной полосы движения городского пассажирского транспорта на заданном перегоне маршрутной сети города.

Таким образом, цель настоящей работы – выявление закономерностей между параметрами транспортных потоков и параметрами программы перевозок городского пассажирского транспорта общего пользования, на основе которых будут сформулированы критерии необходимости выделения отдельной полосы для движения городского наземного транспорта на каждом отдельно взятом перегоне маршрутной сети.

КРАТКИЙ ОБЗОР

Существуют активные и пассивные методы приоритетного пропуска городского массового пассажирского транспорта. К активным относят методы осуществления пропуска путем прямого воздействия на светофорный объект [1].

В данной работе производится обоснование целесообразности выделения полос для движения городского массового пассажирского транспорта общего пользования.

Первым шагом в отечественной практике на пути обоснования целесообразности выделения полос стало «Указание по организации приоритетного движения транспортных средств общего пользования» утвержденное МВД СССР и Минавтотрансом РСФСР в 1983 году¹. Согласно этому документу приоритет-

¹ Указания по организации приоритетного движения транспортных средств общего пользования. Утверждены МВД СССР 30.06.83, Минавтотрансом РСФСР 28.06.83. М.: Транспорт, 1984. 32с.

ное движение в форме выделенных полос целесообразно производить при выполнении следующих условий:

- интенсивность движения транспорта общего пользования не менее 40 ед/час;
- интенсивность движения остальных транспортных средств (в расчете на одну полосу движения) не менее 400 приведенных ед/час;
- имеется не менее трех полос движения в одном направлении;
- пропускная способность дороги в результате выделения полосы движения для транспорта общего пользования будет достаточна для пропуска остальных транспортных средств; не снижается безопасность движения и обеспечивается приемлемая величина задержек.

На сегодняшний день практическое применение указания нецелесообразно, так как приведенные нормативные значения параметров движения устарели.

В работе О.В. Попова основным критерием целесообразности выделения приоритетного движения городского транспорта общего пользования по выделенным полосам является минимум суммарных затрат времени на передвижение участников транспортного процесса. Автор предлагает сравнивать пропускную способность участка улично-дорожной сети с интенсивностью движения транспортных средств за исключением городского транспорта общего пользования [2].

Ю.Д. Шелков в качестве основных факторов для принятия решения о возможности выделения полос, предназначенных для движения городского массового пассажирского транспорта, считает следующие показатели²:

- интенсивность движения транспорта общего пользования;
- интенсивность движения неприоритетных видов транспорта;
- число полос движения в рассматриваемом направлении.

В качестве основного критерия принятия решения о возможности организации выделенных полос в исследованиях С.И. Смирнова выступает сокращение величины суммарной стоимости задержек различных типов транспортных средств. Математическое описание суммарной стоимости задержек приведены в работах Ф.В. Аكوпова, Н.О. Блудяна, Р.С. Айриева, П.И. Хейфиц и М.Р. Якимова [3–8].

Зырянов В.В., Мирончук А.А. в своем исследовании [9–11] рассматривают развитие методов организации приоритетного движения на УДС, а именно концепцию приоритетных выделенных полос прерывного действия (ПППД). Данная концепция впервые была описана в 1996 году Ж. Вигасом. Алгоритм системы ПППД осуществляется по следующим этапам:

- при отсутствии автобусов на участке УДС все полосы открыты для движения индивидуального транспорта;
- при приближении автобуса к ПППД на расчетное расстояние происходит активация системы ПППД;
- активация осуществляется посредством включения управляемых дорожных знаков;
- к моменту приближения автобуса приоритетная полоса освобождается от индивидуального транспорта; автомобилям, входящим на участок ПППД, запрещается въезд и перестроение на приоритетную полосу;
- автобус проходит через участок в приоритетных условиях;
- после выхода автобуса из активной секции полоса ПППД снова становится доступной для индивидуального транспорта.

Оценка эффективности выделенных полос для городского общественного транспорта рассмотрена в работе А.А. Фадюшина, Д.С. Карманова [12]. Оценка производится с помощью определения оптимальных параметров полосы для транспортных средств общего пользования без расширения проезжей части, причем учитывается, что для транспорта индивидуального пользования условия дорожного движения не должны ухудшаться.

И.И.Шлиппе, Л.Ю.Чернобаева, А.В. Ахтеров рассматривают в своей работе подход к анализу эффективности создания выделенных полос для городских автобусных маршрутов [13]. Оценка производится на основании экономической оценки свободного времени потребителя транспортной услуги на городском общественном транспорте. Также рассматриваются недостатки выделения полосы для движения общественного транспорта и ущерб движению индивидуального транспорта.

Обоснование возможности выделения полос для движения городского пассажирского транспорта на основе интегрального показателя, учитывающего уровень загрузки улично-дорожной сети и уровень пассажирского

² Организация дорожного движения в городах: Методическое пособие; Под. общ. ред. Ю.Д. Шелкова / Научно-исследовательский центр ГАИ МВД России. Москва, 1995.143 с.

потока рассматриваемого участка, предложено в исследованиях А.М. Беловой [14–16].

В работах ученых из США, Великобритании, Южной Кореи и др. стран в качестве основных факторов для принятия решения о возможности выделения полос, предназначенных для движения городского массового пассажирского транспорта, выделены следующие показатели [17]:

- минимальное значение интенсивности движения приоритетных видов транспорта;
- пассажиропоток на рассматриваемом участке улично-дорожной сети.

В зарубежной практике встречаются такие сетевые критерии, как буферный индекс и буферное время или временной буфер [18–22]. Данные параметры приобрели широкое применение для оценки качества организации дорожного движения во многих странах.

Временной индекс (Travel time index) TTI – это отношение времени, затраченного транспортным средством на прохождение участка улично-дорожной сети в пиковые периоды ко времени в пути при условиях свободного потока:

$$TTI = \frac{T_{PP}}{T_{FF}}, \quad (1)$$

где T_{PP} – время, затрачиваемое транспортным средством на прохождение участка в условиях часа пик, мин;

T_{FF} – это время, затрачиваемое транспортным средством на прохождение участка в условиях свободного движения, мин.

Временной индекс TTI математически достаточно просто определяется и позволяет оценивать влияние высокой загрузки на условия движения на городских и загородных дорогах.

Область применения временного индекса:

- оценка влияния высокой загрузки на условия движения на сегментах городских улиц и дорог;
- оценка влияния транспортной загрузки сети на затраты времени на передвижение по этой сети;
- сопоставительный анализ дорожных условий и качества организации дорожного движения (ОДД) в разных городах или разных районах города;
- оценка влияния высокой загрузки на условия движения на загородных дорогах (подъезд к городам, объезд городов, магистральные автомобильные дороги).

Оценивать качество организации дорожного движения на магистралях предлагается в соответствии с приведенной ниже таблицей 1.

Буферное время оценивается как дополнительные затраты времени T_b , необходимые для достижения цели передвижения с заданной надёжностью, например, с надёжностью 90% или 95%. Соответственно T_b определяется как разность

$$T_b = T_{90\%(95\%)} - \bar{T}, \quad (3)$$

где $T_{90\%(95\%)}$ – продолжительность передвижения с 90% или 95% обеспеченности; $\bar{T}$ – это средняя продолжительность передвижения.

Рассматриваемый показатель характеризует надёжность функционирования городской улично-дорожной сети или дорожной сети. При этом буферное время T_b может применяться (используя стоимость пассажиро-часа, машино-часа и т.д.) для оценки экономических издержек, которые должен нести пользователь (водитель либо пассажир) в виде дополнительных

Таблица 1
Оценка условий движения на сегментах городских улиц и дорог

Table 1
Traffic conditions assessment in segments of urban streets and roads

Уровень обслуживания	Значение временного индекса TTI	Условия движения
A	<1,2	В пиковые периоды не наблюдается ухудшение условий движения, отличные условия движения.
B	1,21 – 1,3	В пиковые периоды наблюдается незначительное ухудшение условий движения.
C	1,31 – 1,5	В пиковые периоды наблюдается ухудшение условий движения.
D	1,51 – 2	В пиковые периоды наблюдается значительное ухудшение условий движения, удовлетворительные условия движения.
E	>2,1	В пиковые периоды сегмент функционирует ненадежно. Возможны заторы, плохие условия движения.

ных затрат времени в результате ненадежности функционирования транспортной системы.

Как видно, существующие методы обоснования необходимости выделения полос для движения городского пассажирского транспорта в основном основаны на показателях интенсивности и пропускной способности движения, а также значениях пассажирского потока на заданном участке улично-дорожной сети.

Рассмотренные методы не в полной мере характеризуют уровень существующих задержек, т. е. дополнительных затрат времени на ожидания, связанных с регулированием дорожного движения на заданном участке улично-дорожной сети города, сочетающем в себе не только показатели интенсивности и пропускной способности, но и параметры светофорного регулирования и длину очереди. Также приведенные выше методы не учитывают долю пассажирского потока в общем количестве участников дорожного движения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для обоснования необходимости выделения полос для движения городского пассажирского транспорта рассмотрим перегон маршрутной сети, по которому в свободном порядке (не имея приоритета) движутся транспортные средства, в том числе и подвижной состав городского пассажирского транспорта.

Технически выделить полосу для движения городского транспорта на дорогах, имеющих менее двух полос движения в одном направлении, не представляется возможным, следовательно, должно выполняться следующее условие:

$$n \geq 2 \quad (4)$$

где n – число полос движения в одном направлении на рассматриваемом перегоне.

Движение подвижного состава городского пассажирского транспорта на рассматриваемом перегоне маршрутной сети в общем потоке связано с ограничением значения его пропускной способности. Уровень пропускной способности городского пассажирского транспорта, не связанный с технологическими операциями посадки и высадки пассажиров, в основном ограничивается пропускной способностью пересечений улично-дорожной сети города и, как правило, связан с показателем задержки регулирования движения. Показатель

задержки объединяет в себе такие показатели, как интенсивность движения и пропускная способность рассматриваемого участка улично-дорожной сети, длина очереди и параметры светофорного регулирования. Для обеспечения высокой скорости сообщения и повышения привлекательности городского массового пассажирского транспорта необходимо обеспечить приемлемый минимальный уровень задержки.

Параметры движения транспортных средств через регулируемое пересечение улично-дорожной сети целиком зависят от режима светофорного регулирования, т. е. длительности цикла регулирования, а также от длительности его составляющих тактов, фаз и порядка их чередования, при этом основное движение транспортных средств через пересечение осуществляется в период горения разрешающего сигнала светофора.

Следует отметить, что начало движения транспортных средств в момент загорания разрешающего сигнала светофора происходит с некоторой задержкой (стартовая задержка), связанной с разгоном транспортных средств и необходимым временем реакции водителя на смену сигналов светофора. При этом интенсивность движения потока транспортных средств постепенно нарастает до величины, равной пропускной способности рассматриваемого направления [23,24,25,26].

В момент загорания запрещающего сигнала светофора транспортные средства, не имеющие технической возможности остановиться у стоп-линии, продолжают своё движение через пересечение, образуя время «прорыва»³.

Таким образом, движение транспортных средств через регулируемое пересечение улично-дорожной сети начинается несколько позже начала горения разрешающего сигнала светофора и заканчивается в период горения запрещающего сигнала светофора. Время фактического осуществления движения транспортных средств через пересечение улично-дорожной сети можно назвать эффективной длительностью фазы.

Следовательно, предельный (минимальный) приемлемый уровень времени задержки городского пассажирского транспорта, в том числе при движении в свободных условиях, должен быть равен длительности цикла регулирования за вычетом времени эффективной длительности фазы

³ Левашев А.Г., Михайлов А.Ю., Головных И.М. Проектирование регулируемых пересечений: учеб. Пособие. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. 208с.

$$3 = C - g_e \quad (5)$$

где: 3 – время задержки городского пассажирского транспорта, сек;

C – длительность цикла регулирования, сек;

g_e – эффективная длительность фазы, сек.

Как показывает практика, существуют перегоны маршрутной сети, задержки транспортного потока на которых приемлемы, или становятся приемлемыми в определенные часы суток. Не редко на таких перегонах работают выделенные полосы, предназначенные для движения городского пассажирского транспорта. Наличие ограничения (5) ставит под сомнение необходимость выделения таких полос на рассматриваемых перегонах маршрутной сети города.

В городе Красноярске существуют перегоны, входящие в состав только одного маршрута движения городского пассажирского транспорта, где работают выделенные полосы, обеспечивающие его приоритет. Эффективность работы и необходимость выделения таких полос вызывают сомнения. Обеспечение приоритета городского пассажирского транспорта должно быть неразрывно связано с величиной пассажирского потока, передвигающегося на рассматриваемом участке улично-дорожной сети. При этом величина пассажирского потока должна быть соразмерной количеству участников, передвигающихся в свободном (без выделения приоритета) потоке по максимально нагруженной полосе движения и двигающихся в одном и том же направлении. Следовательно, справедливо следующее неравенство:

$$Q \geq v_{cn} \cdot q_{mc}, \quad (6)$$

где: Q – количество пассажиров, передвигающихся по рассматриваемому перегону в единицу времени (например, в час), пасс/час;

v_{cn} – интенсивность движения свободного потока в единицу времени по максимально нагруженной полосе движения (например, в час), прив. ед/час;

q_{mc} – среднее количество пассажиров, находящихся в транспортном средстве из свободного потока движения (за исключением городского пассажирского транспорта), пасс.

Таким образом, учитывая вышесказанное, можно сформулировать следующие условия, наличие которых определяют объективную необходимость обеспечения приоритета городского пассажирского транспорта общего пользования на рассматриваемом перегоне улично-дорожной сети города:

$$\begin{cases} n \geq 2; \\ 3 > C - g_e; \\ Q \geq v_{cn} \cdot q_{mc}. \end{cases} \quad (7)$$

В городе Красноярске произведено обследование перегонов маршрутной сети на предмет их соответствия условиям ограничений (7). На перегонах маршрутной сети, имеющих более двух полос движения в одном направлении, в разное время суток фиксировались:

1. Уровень транспортной задержки, длительность цикла регулирования и его составляющие. Для определения уровня задержки необходимо учитывать транспортные средства, прибывающие к пересечению проезжих частей, но не успевшие его пересечь из-за необходимости остановиться и общее количество транспортных средств прибывающих к пересечению.

2. Мощность пассажирского потока, определялся глазомерным методом непосредственно на перегоне маршрутной сети.

3. Интенсивность движения и количество пассажиров в общем потоке.

В результате обследования выявлено:

1. Около 35% перегонов маршрутной сети имеют выделенные полосы для движения городского пассажирского транспорта. Основное количество перегонов, имеющих выделенные полосы, появилось в рамках подготовки к Универсиаде.

2. Около 10% перегонов маршрутной сети имеющих выделенные полосы для движения маршрутных транспортных средств не отвечают требованиям ограничений (5). Следовательно, необходимость выделения таких полос вызывает сомнение.

3. Около 5% перегонов маршрутной сети имеющих выделенные полосы для движения маршрутных транспортных средств не отвечают требованиям ограничений (6).

4. В межпиковое и вечернее время, количество перегонов маршрутной сети имеющих выделенные полосы для движения маршрутных транспортных средств можно сократить (до 45%).

5. Около 6% перегонов маршрутной сети города, в пиковые часы, соответствуют условиям ограничений (7), следовательно, требуют устройства выделенных полос для движения городского пассажирского транспорта.

Таким образом, результаты проведенного обследования подтверждают необходимость учета условий (7) при принятии решений о необходимости выделения отдельных полос для движения городского пассажирского транспорта.



Рисунок 1 – Результаты обследования перегонных маршрутной сети г.Красноярска

Figure 1 – Results of the survey of the Krasnoyarsk route network

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пропускная способность линий городского пассажирского транспорта, не связанная с процессом посадки и высадки пассажиров, во многом ограничивается пропускной способностью пересечений улично-дорожной сети города, на которую существенное влияние оказывают параметры случайных процессов поступления транспортных средств.

Предложенная в работе математическая модель формирует необходимые условия, строгое выполнение которых определяет необходимость обеспечения приоритета городского пассажирского транспорта общего пользования на рассматриваемом участке улично-дорожной сети города. В основу необходимых условий положены такие показатели, как уровень задержки транспортного потока и доля величины пассажирского потока в общем потоке участников движения.

Уровень задержки транспортного потока объединяет в себе такие показатели, как интенсивность движения и пропускная способность рассматриваемого участка улично-дорожной сети, длина очереди и параметры регулирования. Величина пассажирского потока сравнивается с величиной потока участников, передвигающихся в свободном режиме.

Таким образом, используя предложенную модель, можно определить рациональность выделения отдельных полос, движения для транспорта общего пользования в соответствии с уровнем загрузки улично-дорожной сети города, что в свою очередь может стать основой алгоритма работы интерактивных знаков, регулирующих дорожное движение на заданном перегоне улично-дорожной сети города.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лыткина А.А., Михайлов А.Ю. Эффективность применения приоритета городского пассажирского транспорта на регулируемых перекрестках // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. №7(54). С. 60–65.
2. Попова О.В., Горев А.Э., Филимонова А.М. Повышение эффективности использования общественного транспорта за счет выделенных полос // Автотранспортное предприятие. 2010. №8. С. 10–12.
3. Акопов Ф.В., Блудян Н.О., Айриев Р.С. Комплексный подход к организации приоритетного движения наземного пассажирского транспорта // Автотранспортное предприятие. 2014. №11. С. 5–9.
4. Акопов Ф.В., Блудян Н.О., Айриев Р.С., Хейфиц П. И. Регулирование спроса и комплексное управление агломерационными пассажирскими перевозками // Автоматизация и управление в технических системах. 2014. №3(11). С. 66–82.
5. Акопов Ф.В., Блудян Н.О., Айриев Р.С., Реал С. Современная модель организации мультимодальных межрегиональных пассажирских перевозок в условиях агломерации // В мире научных открытий. 2015. №6(66). С. 233–242.
6. Якимов М.Р. Методология обоснования целесообразности выделения обособленных полос для движения общественного транспорта на улично-дорожной сети крупного города // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2011. №2(25). С. 90–95.
7. Якимов М.Р. Показатели качества организации дорожного движения в городах и методы их оценки // Транспорт Урала. 2014. №2(41). С. 90–92.
8. Якимов М.Р. Методика анализа инфраструктурных ограничений системы городского пассажирского транспорта общего пользования // Автотранспортное предприятие. 2011. №9. С. 46–48.
9. Зырянов В.В. Приоритетное движение общественного транспорта: развитие методов орга-

низации // Транспорт Российской Федерации, 2012. № 3-4 (40-41). С. 22-25.

10. Мирончук А.А. Развитие концепции приоритетных полос прерывного действия // Научное обозрение. 2014. №7-3. С. 1050-1052.

11. Мирончук А.А. Исследование влияния уровня развития интеллектуальной транспортной системы на эффективность применения приоритетных полос прерывного действия // Инженерный вестник Дона. 2013. №3(26). 146 с.

12. Фадюшин А.А., Карманов Д.С. Особенности организации дорожного движения в центральной части города Тюмени // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2015. С.102-113.

13. Шлиппе И.И. Чернобаева Л.Ю., Ахтеров А.В. Анализ эффективности создания выделенных полос для городских автобусных маршрутов // Автоматизация и управление в технических системах (АУТС) 2015. № 3. С. 181-189.

14. Горев А.Э., Попова О.В., Филимонова А.М. Повышение эффективности использования общественного транспорта за счет выделенных полос // Автотранспортное предприятие. 2010. С. 10-12.

15. Белова А.М. Основы методики планирования организации выделенных полос для движения общественного транспорта // Вестник гражданских инженеров. 2012. 6(35). С.123-129.

16. Belova A. Technique bases of planning the organization of allocated strips for public transport movement // Bulletin of civil engineers. 2012. T.6, №35. Pp.123.

17. Лыткина А.А., Михайлов А.Ю. Эффективность применения приоритета городского пассажирского транспорта на регулируемых перекрестках // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011.№7(54). С. 60-65.

18. Румянцев Е.А. Совершенствование методов оценки условий движения транспортных потоков на городской улично-дорожной сети // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. №9(68).С. 148-152.

19. Шаров М.И., Михайлов А.Ю., Ковалева Т.С. Оценка надежности работы городского пассажирского транспорта в Иркутске // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 9 (68). С. 174-178.

20. Шаров М.И., Михайлов А.Ю. К вопросу развития современной системы критериев оценки качества функционирования общественного пассажирского транспорта // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 9, № 19 (146). С. 64-66.

21. Herman R., Ardekani S.A. Characterizing traffic conditions in urban areas // Transportation Science. 1984. № 18 (2). Pp. 101-140.

22. Трофимов. А.В. Временной индекс – критерий оценки влияния загрузки улично-дорожной сети на качество ее функционирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. №10(105). С. 181-185.

23. Левашев А.Г., Михайлов А.Ю. Основные параметры оценки пропускной способности регулируемых пересечений // ВНИТИ. 2004. №3. С.21-26.

24. Akcelik R. Traffic signals: capacity and timing analysis // Australian Road Research Board Research Report, ARR.1981. No.123. 109p.

25. Olszewski P. Modeling of Queue Probability Distribution at Traffic Signals // Transportation and Traffic Flow Theory, Elsevier Science Publishing Co., Inc., M. Koshi, Ed.. 1990. Pp. 569-588.

REFERENCES

1. Lytkina A. A. Mikhailov A.Yu. Effektivnost' primeneniya prioriteta gorodskogo passazhirskogo transporta na reguliruemym perekrestkah [Effectiveness of urban passenger priority at regulated intersections]. *Bulletin of Irkutsk state technical University*. 2011; 7(54) : 60-65. (in Russian)

2. Popova O. V., Gorev A. E., Filimonova A.M. Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovaniya obshhestvennogo transporta za schet vydelenykh polos [Improving the efficiency of public transport using allocated lanes]. *Motor transport enterprise*. 2010; 8: 10-12. (in Russian)

3. Akopov F.V. Bludyan N.O., Airiev R.S. Kompleksnyj podhod k organizacii prioritetnogo dvizheniya nazemnogo passazhirskogo transporta [Integrated approach to land passenger priority movement]. *Motor transport company*. 2014; 11: 5-9. (in Russian)

4. Akopov F. V. Bludyan N.O., Airiev R.S, Akopov F.V., Heifits P. I. Regulirovanie sprosa i kompleksnoe upravlenie aglomeracionnymi passazhirskimi perevozkami [Demand management and integrated management of sinter passenger transport]. *Automation and control in technical systems*. 2014; 3(11): 66-82. (in Russian)

5. Akopov F. V. Bludyan N. O., Airiev R.S, Akopov F. V., Real S. Sovremennaja model' organizacii multimodal'nyh mezhregional'nyh passazhirskih perevozk v usloviyah aglomeracii [Modern model for multimodal interregional passenger transport in agglomeration]. *In the world of scientific discoveries*. 2015; 6(66): 233-242. (in Russian)

6. Yakimov M. R. Metodologija obosnovaniya celesobraznosti vydeleniya obosoblennykh polos dlja dvizheniya obshhestvennogo transporta na ulichno-dorozhnoj seti krupnogo goroda [Methodology for justifying the use of segregated lanes for public transport on a large city's street network]. *Bulletin of the Moscow automobile and road state technical University (MADI)*. 2011; 2(25): 90-95. (in Russian)

7. Yakimov M. R. Pokazateli kachestva organizacii dorozhnogo dvizheniya v gorodah i metody ih ocenki [Urban traffic management quality indicators and measurement methods]. *Transport of the Urals*. 2014; 2(41): 90-92. (in Russian)

8. Yakimov M. R. Metodika analiza infrastrukturyh ogranichenij sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta obshhego pol'zovaniya [How to analyse the infrastructural constraints of public urban passenger transport]. *Motor transport enterprise*. 2011; 9-P: 46-48. (in Russian)

9. Zyryanov V.V. Mironchuk A.A. Prioritetnoe dvizhenie obshhestvennogo transporta: razvitie metodov organizacii [Priority traffic in public transport: development of methods of organization]. *Transport of the Russian Federation*. 2012; 3-4 (40-41): 22-25. (in Russian)

10. Myronchuk A. A. Razvitie koncepcii prioritetykh polos preryvnogo dejstvija [Development of the concept of priority bands for intermittent action]. *Scientific review*. 2014; 7: 1050-1052. (in Russian)

11. Myronchuk A. A. Issledovanie vlijanija urovnja razvitiya intellektual'noj transportnoj sistemy na jeffektiv-

nost' primeneniya prioritnykh polos preryvnogo dejstviya [Study on the impact of the level of development of the intelligent transport system on the efficiency of the use of priority intermittent lanes]. *Engineering journal of don*. 2013; 3(26): 146. (in Russian)

12. Fadyushin A. A., Karmanov D. S. Osobennosti organizatsii dorozhnogo dvizheniya v central'noj chasti goroda Tjumeni [Features of traffic management in the central city of Tiumen]. *Transport. Transport construction. Ecology*. 2015. 102–113. (in Russian)

13. Slippe I., Chernobaeva L. Yu., Akhterov A. V. Analiz jeffektivnosti sozdaniya vydelennykh polos dlja gorodskih avtobusnykh marshrutov [Urban bus lane performance analysis]. *Automation and control in technical systems (OUTS)*. 2015; 3: 181–189. (in Russian)

14. Gorev A. E., Popova O. V., Filimonov A. M. Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovaniya obshhestvennogo transporta za schet vydelennykh polos [Improving the efficiency of public transport using allocated lanes]. *Motor transport enterprise*. 2010. 10–12. (in Russian)

15. Belova A. M. Osnovy metodiki planirovaniya organizatsii vydelennykh polos dlja dvizheniya obshhestvennogo transporta [Basics of Public Transport Lane Planning Methodology]. *Bulletin of civil engineers*. 2012; 6 (35): 123–129. (in Russian)

16. Belova A. Technique bases of planning the organization of allocated strips for public transport movement. *Bulletin of civil engineers*. 2012; 6 (35): 123.

17. Lytkina A. A., Mikhailov A. Yu. Jeffektivnost' primeneniya prioriteta gorodskogo passazhirskogo transporta na reguliruemym perekrestkah [Effectiveness of urban passenger priority at regulated intersections]. *Bulletin of Irkutsk state technical University*. 2011; 7(54): 60–65. (in Russian)

18. Rummyantsev E. A. Sovershenstvovanie metodov ocenki uslovij dvizheniya transportnykh potokov na gorodskoj ulichno-dorozhnoj seti [Improvement of urban traffic assessment methods]. *Bulletin of the Irkutsk state technical University*. 2012; №9(68): 148–152. (in Russian)

19. Sharov M. I., Mikhailov A. Yu., Kovaleva T. S. Ocenka nadezhnosti raboty gorodskogo passazhirskogo transporta v Irkutsk [Assessment of the safety of urban passenger transport in Irkutsk]. *Bulletin of the Irkutsk state technical University*. 2012; 9 (68): 174–178. (in Russian)

20. Sharov M. I., Mikhailov A. Yu. K voprosu razvitiya sovremennoj sistemy kriteriev ocenki kachestva funkcionirovaniya obshhestvennogo passazhirskogo transporta [On the development of a modern system of criteria for evaluating the quality of public passenger transport]. *Izvestiya Volgograd state technical University*. 2014; 19 (146): 64–66. (in Russian)

21. Herman R., Ardekani S.A. Characterizing traffic conditions in urban areas. *Transportation Science*. 1984; 18 (2): 101–140.

22. Trofimov A.V. Vremennoj indeks – kriterij ocenki vliyanija zagruzki ulichno-dorozhnoj seti na kachestvo ee funkcionirovaniya [Time index – measure of the Impact of traffic congestion on the quality of traffic]. *Bulletin of the Irkutsk state technical University*. 2015; №10(105): 181–185. (in Russian)

23. Levashev A.G., Mikhailov A.Yu. Osnovnye parametry ocenki propusknogo sposobnosti reguliruemym

peresechenij [Basic parameters for assessing the capacity of regulated intersections]. *VNITI*. 2004; (3): 21–26. (in Russian)

24. Akcelik R. Traffic signals: capacity and timing analysis. *Australian Road Research Board Research Report, ARR*. 1981; (123) : 109.

25. Olszewski P. Modeling of Queue Probability Distribution at Traffic Signals. *Transportation and Traffic Flow Theory, Elsevier Science Publishing Co., Inc., M. Koshi, Ed.* 1990, pp. 569–588.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Фомин Е.В. Разработка методики необходимости обеспечения приоритета городского пассажирского транспорта общего пользования. Анализ состояния вопроса.

Зеер В.А. Обзор литературных источников.

Арефьева Е.С. Обзор литературных источников.

Голуб Н.В. Обзор литературных источников.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Evgenii V. Fomin – the development of a methodology for ensuring the priority of urban public passenger transport, the analysis of the issue status.

Vladimir A. Zeer – a literary sources review.

Elena S. Arefieva – a literary sources review.

Natalia V. Golub – a literary sources review.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фомин Евгений Валерьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры транспорта Сибирского федерального университета, Scopus ID: 57212171682, (660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, д.26, e-mail:2325337@mail.ru).

Зеер Владимир Андреевич – канд. техн. наук, доц. кафедры транспортно-технологических машин Сибирского федерального университета, (660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, д.26, e-mail: zeer.vladimir@mail.ru).

Арефьева Елена Сергеевна – студент кафедры транспорта Сибирского федерального университета

Голуб Наталья Викторовна – старший преподаватель кафедры транспорта Сибирского федерального университета.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Evgenii V. Fomin – Cand. of Sci., Associate Professor of the Transport Department, Siberian Federal University, Scopus ID: 57212171682, (660074, Krasnoyarsk, Akademik Kirenskii Street, 26, e-mail:2325337@mail.ru).

Vladimir A. Zeer -Cand. of Sci., Associate Professor of the Transport and Technological Machines Department, Siberian Federal University, (660074, Krasnoyarsk, Akademik Kirenskii Street, 26, e-mail: zeer.vladimir@mail.ru).

Elena S. Arefieva – student of the Transport Department, Siberian Federal University

Natalia V. Golub – senior lecturer of the Transport Department, Siberian Federal University.

РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ В КРУПНОТОННАЖНЫХ КОНТЕЙНЕРАХ С ГРУЗОПОДЪЕМНЫМИ СТОЙКАМИ В АВТОМОБИЛЬНО-ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ СООБЩЕНИИ

И.М. Рябов, В.В. Горина

Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время перевозка существующих крупнотоннажных контейнеров в автомобильно-железнодорожном смешанном сообщении осуществляется только посредством специализированных площадок с оборудованием для их перегрузки. Число данных площадок на сети железнодорожного транспорта в РФ значительно меньше, чем число обычных грузовых железнодорожных станций, не имеющих такого оборудования, что приводит к увеличению расстояния, времени и себестоимости доставки, снижению эффективности использования автомобильного транспорта вследствие больших простоев. Часто перевозки крупнотоннажных контейнеров подвижным составом автомобильного транспорта (ПС) осуществляются на значительные расстояния в направлении, обратном их движению по железной дороге. Для устранения указанных недостатков авторами статьи сформулирована цель работы – разработка и оценка эффективности технологии перевозки грузов в крупнотоннажных контейнерах с грузоподъемными стойками в автомобильно-железнодорожном сообщении на конкретном примере перевозок. В рамках которой разработана новая конструкция контейнера с грузоподъемными стойками, позволяющая осуществлять погрузо-разгрузочные операции с контейнером на обычных грузовых железнодорожных станциях без использования специализированного оборудования контейнерных терминалов, а также выполнена оценка эффективности технологии перевозки таких контейнеров в автомобильно-железнодорожном сообщении на конкретном примере.

Материалы и методы. При исследовании использованы методы теорий: эксплуатации автомобилей, эксплуатационных свойств автомобилей, транспортных процессов, аналитические и численные методы.

Результаты. Выявлено, что по сравнению с существующей технологией время доставки грузов по новой технологии перевозки крупнотоннажных контейнеров с грузоподъемными стойками с Волжского пивоваренного завода до г. Новосибирска уменьшилось на 24,6%, время работы ПС автомобильного транспорта сократилось в 10 раз, а годовая экономическая эффективность применения новой технологии составляет 1,55 млн руб.

Обсуждение и заключение. На примере использования новой технологии перевозки крупнотоннажных контейнеров с грузоподъемными стойками в смешанном сообщении показано, что она по сравнению с существующей технологией позволяет:

- а) сократить количество операций доставки на 24%;
- б) уменьшить время доставки на 24,6% и время работы автомобильного транспорта до 10 раз.
- в) получить годовой экономический эффект применения новой технологии в размере 1,55 млн руб.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: контейнер, доставка грузов, подвижной состав, контейнерный терминал, технология контейнерных перевозок.

Поступила 27.02.2020, принята к публикации 30.06.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Рябов И.М., Горина В.В. Разработка и оценка эффективности технологии перевозки грузов в крупнотоннажных контейнерах с грузоподъемными стойками в автомобильно-железнодорожном сообщении. Вестник СибАДИ. 2020; 17(3):. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-400-412>

© Рябов И.М., Горина В.В.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-400-412>

DEVELOPMENT AND EFFICIENCY EVALUATION OF CARGO TRANSPORTATION TECHNOLOGY IN HIGH-CAPACITY CONTAINERS WITH LOAD LIFTING VERTICAL STAYS IN ROAD-RAIL NETWORK

I.M. Riabov, V.V. Gorina

Volgograd State Technical University,
Volgograd, Russia

ABSTRACT

Introduction. At present the transportation of current high-capacity containers in road-rail mixed network is carried out only by means of the specialized sites with the equipment for their reloading. The number of such sites on the railway transport network in the Russian Federation is significantly fewer than the number of conventional cargo railway stations without such equipment, which leads to distance, time and cost of delivery increasing, the efficiency of the road transport use reducing due to a large downtime. The transportation of high-capacity containers by road rolling stock (RS) is often carried out over the considerable distances in the reverse direction by rail. In order to eliminate these shortcomings, the authors of the article formulated the purpose of the work – the development and evaluation of the efficiency of the technology of goods transportation in high-capacity containers with load lifting stays in a road-railway network based on a transportation case study. Within the framework of which a new design of a container with load lifting stays has been developed which allow to carry out loading and unloading operations with the container at conventional cargo railway stations without the use of specialized equipment of container terminals, as well as the efficiency evaluation of the technology of the containers transportation in road-rail network based on a case study.

Materials and methods. The study uses the following methods of theories: cars operation, car operational properties, transport processes; analytical and numerical methods.

Results. It has been determined that the cargo delivery time according to the new technology of transportation of high-capacity containers with load lifting stays from the Volga brewery to Novosibirsk has decreased by 24.6%, the time of operation of road RS has decreased by 10 times, and the annual economic efficiency of the new technology application is 1.55 million rubles in comparison with the current technology.

Discussion and conclusions. Based on the case study of the use of a new technology for the transportation of high-capacity containers with load lifting stays in a mixed network it has been found that this technology allows:

A) to reduce the number of delivery operations by 24%;

B) to reduce the delivery time by 24.6% and the operation time of motor transport by 10 times.

C) to obtain the annual economic effect of the application of the new technology in the amount of 1.55 million rubles.

KEYWORDS: container, cargo delivery, rolling stock, container terminal, container transportation technology.

Submitted 27.02.2020, revised 30.06.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

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

For citation: Ryabov I.M., Gorina V.V. Development and efficiency evaluation of cargo transportation technology in high-capacity containers with load lifting stays in road-rail network. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17(3): . <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-400-412>

© Riabov I.M., Gorina V.V.



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

ВВЕДЕНИЕ

Контейнерные перевозки крупнотоннажными контейнерами – современный и наиболее экономичный вид доставки грузов из всех используемых в трансконтинентальном сообщении. Особенно эффективно применение таких контейнеров, когда требуется перевозка грузов в смешанном или мультимодальном сообщении, вследствие чего значительно снижаются затраты на перевозку, хранение и перевалку грузов [1, 2, 3]. Преимущества использования крупнотоннажных контейнеров состоят в низкой стоимости перевозки по сравнению с альтернативными видами, возможностью перевозки больших партий груза в независимости от их транспортной характеристики. Однако доставка крупнотоннажных контейнеров в смешанном автомобильно-железнодорожном сообщении осуществляется только через контейнерные терминалы, имеющие специальное оборудование для их перегрузки в железнодорожных вагонах на ПС автомобильного транспорта и обратно. Количество таких терминалов на сети железнодорожного транспорта в РФ мало, в результате чего при существующей технологии доставки крупнотоннажных контейнеров автомобильный ПС эксплуатируются неэффективно: перевозки осуществляются на большие расстояния со значительными задержками, что снижает их производительность.

Вопросам повышения эффективности работы ПС автомобильного транспорта при обслуживании потребительских пунктов посвящены разработки единых технологических процессов, выполненные НИИАТом и Госавто-трансНИИпроектом, а также работы ряда других научных организаций по теоретическому обоснованию развития контейнерной транспортной системы. Однако новая технология, позволяющая снизить время доставки и повысить производительность автопоездов при перевозках крупнотоннажных контейнеров в смешанном сообщении, не была разработана. Анализ контейнерной транспортной системы РФ показал, что в настоящее время на сети железнодорожного транспорта имеется ограниченное число контейнерных терминалов, что увеличивает расстояние перевозки в автомобильно-железнодорожном сообщении, причем нередко автомобильные перевозки крупнотоннажных контейнеров осуществляются в направлении обратном их движению по железной дороге. В 50% случаев перевозка грузов осуществляется неудобными в эксплуатации контейнерами, что повышает себестоимость доставки [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18].

Перспективным направлением повышения эффективности перевозки крупнотоннажных контейнеров в смешанном сообщении является разработка новой технологии, основанной на применении разработанной авторами статьи конструкции контейнера с грузоподъемными стойками [19, 20, 21, 22].

Цель работы – разработка и оценка эффективности технологии перевозки грузов в крупнотоннажных контейнерах с грузоподъемными стойками в автомобильно-железнодорожном сообщении на конкретном примере перевозок.

Объект исследования – новый крупнотоннажный контейнер и процесс его доставки по предлагаемой технологии.

Для доказательства преимущества предлагаемой технологии доставки грузов по сравнению с существующей технологией в статье выполнены расчеты и сравнительный анализ показателей доставки контейнеров на конкретном примере.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Разработка новой конструкции контейнера с грузоподъемными стойками

Разработка новой конструкции контейнера осуществлялась на основе результатов проведенного патентного поиска погрузочно-разгрузочных устройств для транспортабельных контейнеров. Был выбран прототип, на основании которого авторами запатентована новая конструкция контейнера с грузоподъемными стойками (рисунок 1) [23, 24, 25]. Грузоподъемные стойки 2 (см. рисунок 1) закреплены на боковых стенках контейнера 1 в прямоугольных рамах 4, установленных по углам контейнера с возможностью поворота вокруг вертикальной оси на 90 градусов и фиксирования в крайних положениях.

Каждая грузоподъемная стойка оснащена собственным источником гидропитания, все агрегаты которого закреплены на силовом корпусе стойки. Дросселирующие распределители такой грузоподъемной стойки соединены проводами с пультом управления, который установлен в закрепленном на корпусе контейнера шкафу. В шкафу размещены также ручная или автоматическая система горизонтирования контейнера и электрический кабель с разъемом и подключаемые к нему зажимы типа «крокодил» подключения к аккумулятору автомобиля.

Грузоподъемные стойки позволяют поднять контейнер над железнодорожной платформой и опустить на платформу автотранспортного средства, которым контейнер доставляется в пункт назначения. После установки на платформу автотранспортного средства гру-

зоподъемные стойки складываются и фиксируются, при этом ширина контейнера не превышает допустимые габариты. На погрузо-разгрузочной площадке пункта назначения грузоподъемные стойки контейнера вновь раскладываются и могут поднять контейнер над платформой автотранспортного средства, которое может уехать за следующим контейнером, а также может взять разгруженный контейнер и переместить его на железнодорожную станцию. Грузоподъемные стойки также могут опустить доставленный контейнер на его дно для применения средств механизации разгрузки или установить контейнер на

любой высоте, удобной для выгрузки-загрузки грузов. Аналогично осуществляется погрузка контейнера обратно на железнодорожную платформу. Обычно используют четыре грузоподъемные стойки, которые закрепляют по углам. Однако для контейнеров повышенной вместимости количество грузоподъемных стоек может быть увеличено до шести-восьми, при этом добавочные стойки закрепляют в средней части корпуса контейнера. Широкое расположение стоек обеспечивает хорошую устойчивость порожнего контейнера при действии ветровых нагрузок.

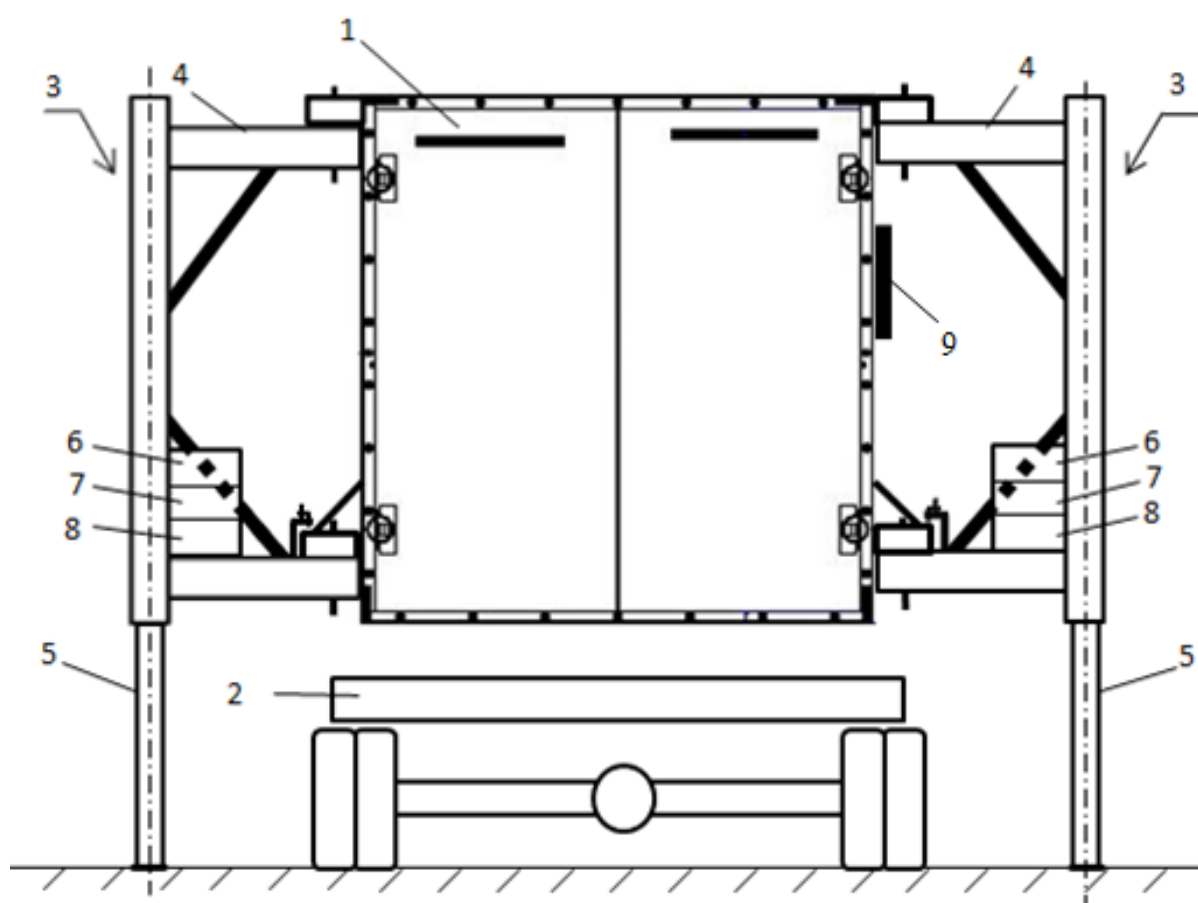


Рисунок 1 – Схема погрузки транспортабельных контейнеров, новая конструкция с грузоподъемными стойками, вид сбоку:
1 – корпус контейнера; 2 – платформа автотранспортного средства;
3 – грузоподъемные стойки; 4 – силовой корпус;
5 – телескопический выдвижной элемент; 6 – гидронасос;
7 – емкость с рабочей жидкостью; 8 – дросселирующий распределитель;
9 – шкаф управления

Figure 1 – The diagram of loading the transportable containers, a new structure with the load lifting stays, side view:
1 – a container body; 2 – a vehicle platform; 3 – load lifting stays; 4 – a power housing;
5 – a telescopic sliding element; 6 – a hydraulic pump; 7 – a container with working liquid;
8 – a throttling direction control valve; 9 – a control cabinet

Грузоподъемные стойки могут быстро складываться- раскладываться и фиксироваться вручную или специальными приводами. Они транспортируются вместе с контейнером, что расширяет возможности его использования и сокращает время, затрачиваемое на погрузку и разгрузку. Управление всеми грузоподъемными стойками контейнера осуществляется одним оператором с пульта управления с кабелем или радиоуправлением с переносного пульта.

Таким образом, разработанная новая конструкция транспортабельного контейнера

(см. рисунок 1) с грузоподъемными стойками позволяет осуществлять операции погрузки и выгрузки контейнера на полуприцеп-контейнеровоз или на платформу универсального транспортного средства, устанавливать необходимую высоту контейнера на опорной поверхности, что расширяет возможности использования таких контейнеров.

Она также позволяет повысить эффективность использования ПС автомобильного транспорта за счет сокращения времени простоев на операциях погрузки и выгрузки контейнера.

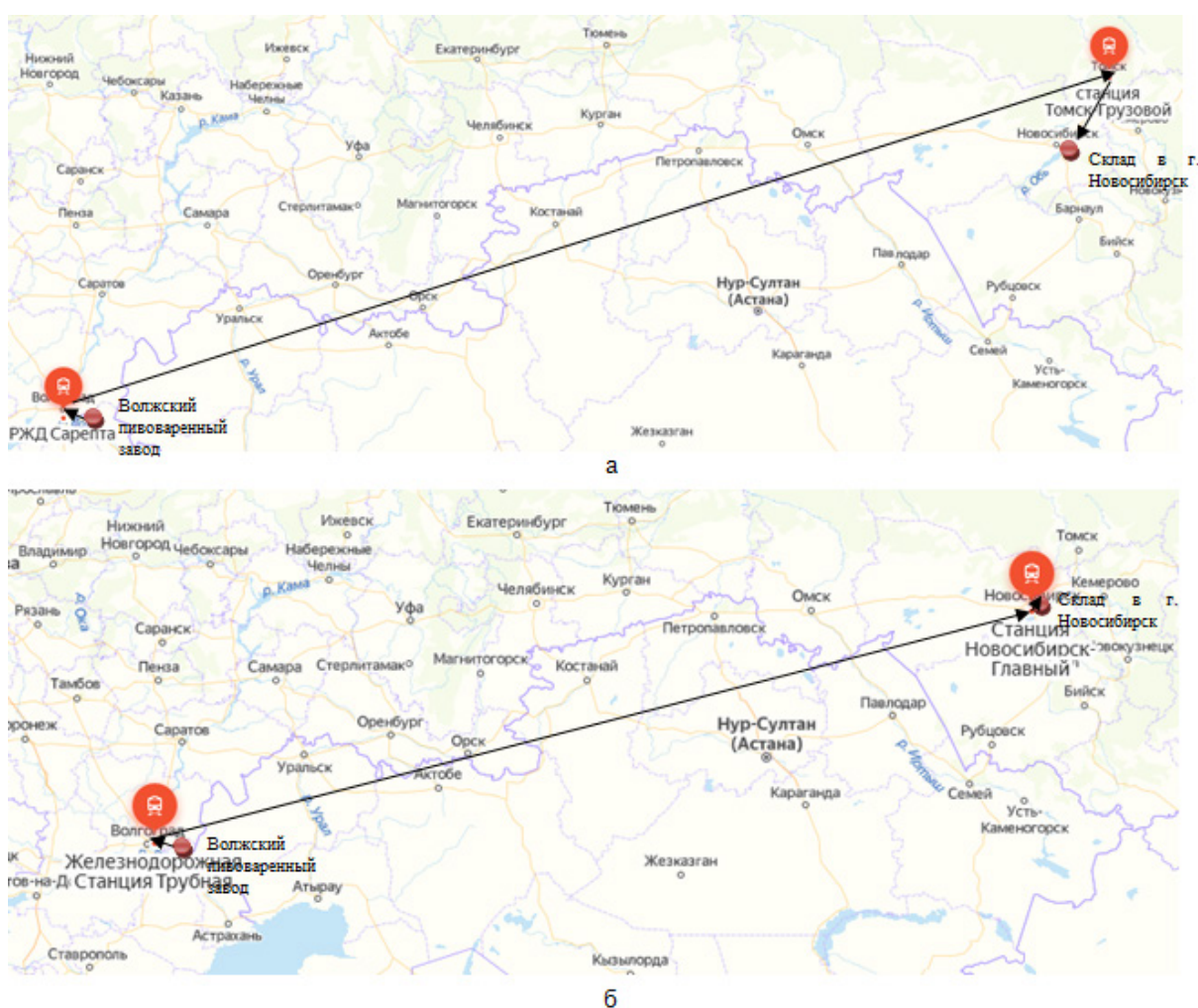


Рисунок 2 – Схемы маршрута перевозки контейнера:
а – существующая технология доставки;
б – предлагаемая технология доставки

Figure 2 – The container transportation route diagrams:
а – a current delivery technology;
б – a proposed delivery technology

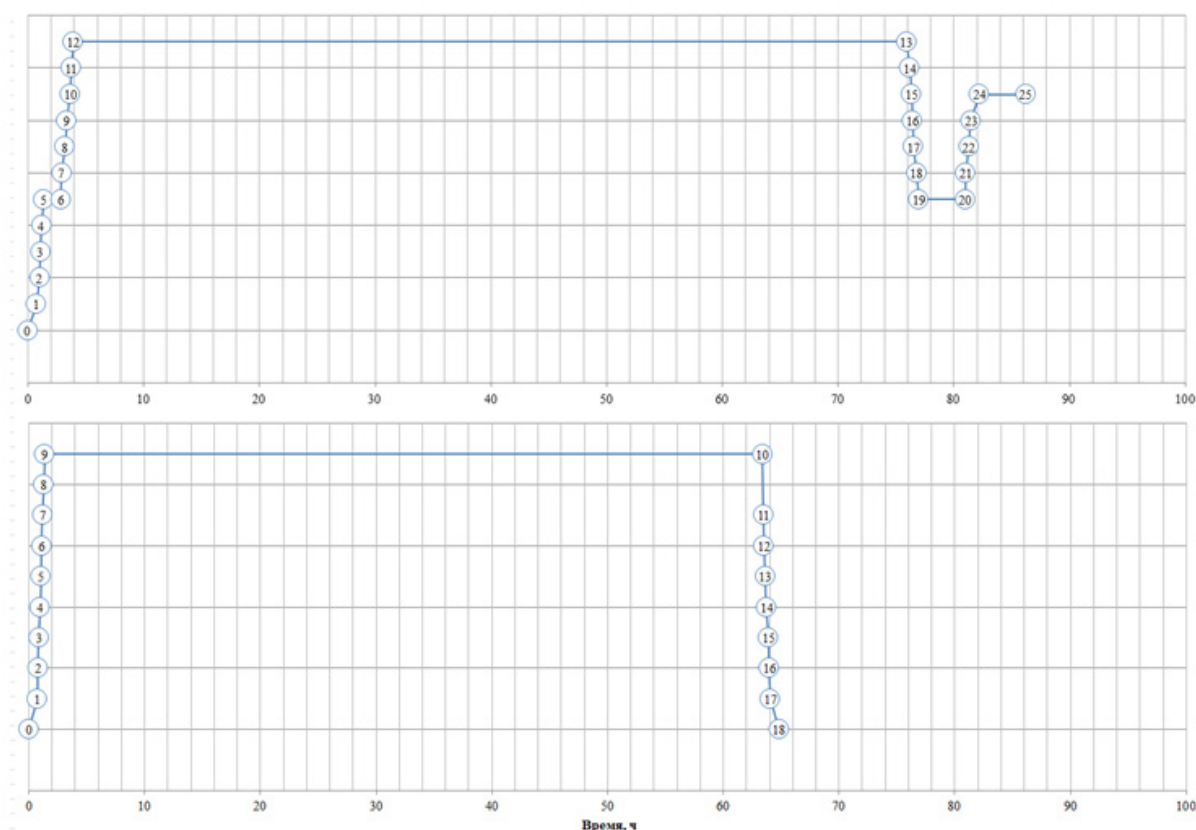


Рисунок 3 – Сетевые графики выполнения технологических операций при перевозке контейнера:
а – по существующей технологии доставки;
б – по предлагаемой технологии доставки

Figure 3 – The control-flow charts of the process operations implementation during the container transportation:
a – according to the current delivery technology;
b – according to the proposed delivery technology

Разработка технологии перевозки в смешанном автомобильно-железнодорожном сообщении крупнотоннажных контейнеров с грузоподъемными стойками и оценка ее эффективности на конкретном примере перевозки

В качестве конкретного примера перевозки грузов в крупнотоннажных контейнерах по существующей и новой технологии доставки выбраны перевозки продукции с Волжского пивоваренного завода на склад в г. Новосибирске. С завода до железнодорожной станции Сарепта, оборудованной специальными механизмами для перегрузки контейнера, далее контейнер доставляется до станции Томск-Грузовой. Схема маршрута по существующей технологии доставки представлена на рисунке 2, а.

По данной технологии доставки обычный контейнер отправляется автомобильным

транспортом, где разгружается и устанавливается на контейнерной площадке для ожидания ПС автомобильного транспорта. По прибытии ПС проводится оформление документов, а затем погрузка контейнера на ПС, который перемещает его на склад в г. Новосибирск. На складе производится выгрузка груза из контейнера, во время которой ПС простаивает.

По новой технологии доставки контейнера с грузоподъемными стойками (рисунок 2, б) контейнер отправляется автомобильным транспортом с Волжского пивоваренного завода до ближайшей железнодорожной платформы Станция Трубная, так как для перегрузки контейнера не нужны специальные механизмы. Далее он доставляется до железнодорожной станции Новосибирск-Главный, которая является самой близкой к пункту назначения, где контейнер самостоятельно снимается с

железнодорожной платформы и устанавливается на обычной грузовой площадке для ожидания подвижного состава автомобильного транспорта. По прибытии ПС проводится оформление документов, а затем погрузка контейнера на ПС, который перемещает его на склад в г. Новосибирск. На складе производится снятие контейнера с ПС и далее выгрузка груза из контейнера, что исключает простой ПС.

На втором этапе строим сетевые графики выполнения технологических операций при перевозке контейнера по существующей технологии доставки (рисунок 3, а) и по предлагаемой технологии доставки (рисунок 3, б).

Оборудование, используемое при доставке контейнеров существующей и предлагаемой технологии, приведено в таблице 1.

Таблица 1
Оборудование, используемое при доставке контейнеров существующей и предлагаемой технологии

Table 1
The equipment used for containers transportation of the current and proposed technology

Операция	Используемое оборудование и подвижной состав	
	Существующая технология	Предлагаемая технология
Загрузка грузов в контейнер	Универсальные погрузчики (например вилочные)	
Погрузка контейнера на ПС	Специальные погрузочные устройства (например фронтальные и боковые контейнерные погрузчики)	Самостоятельно с помощью грузоподъемных стоек
Перевозка контейнера на терминальный комплекс	Специализированные полуприцепы-контейнеровозы	Любой подвижной состав
Снятие контейнера с ПС	Специальные разгрузочные устройства (например козловые краны)	Самостоятельно с помощью грузоподъемных стоек
Выгрузка грузов из контейнера	Универсальные погрузчики (например вилочные)	

Операции и оборудование, применяемое для их выполнения, а также время выполнения операций при доставке контейнеров по существующей и предлагаемой технологии приведены в таблице 2.

Таблица 2
Операции и оборудование, применяемое для их выполнения, а также время выполнения операций при доставке контейнеров по существующей и предлагаемой технологии

Table 2
The operations and equipment used for their implementation as well as the time of operations during containers transportation according to the current and proposed technology

Существующая технология (фактические данные)				Предлагаемая технология (расчетные данные)			
№	Операция	Оборудование	Время, ч	№	Операция	Оборудование	Время, ч
1	загрузка грузов в контейнер	вилочный погрузчик	0,747	1	загрузка грузов в контейнер	вилочный погрузчик	0,747
2	ожидание погрузки	-	0,282	2	маневрирование автомобиля	тягач с полуприцепом	0,033

Существующая технология (фактические данные)				Предлагаемая технология (расчетные данные)			
№	Операция	Оборудование	Время, ч	№	Операция	Оборудование	Время, ч
3	маневрирование автомобиля-контейнеровоза	контейнеровоз	0,066	3	подготовка автомобиля	тягач с полуприцепом	0,093
4	подготовка автомобиля-контейнеровоза к погрузке	контейнеровоз	0,093	4	погрузка контейнера на автомобиль	тягач с полуприцепом	0,1
5	погрузка контейнера на автомобиль-контейнеровоз	контейнеровоз	0,165	5	перевозка контейнера на ж/д станцию	тягач с полуприцепом	0,08
6	перевозка контейнера на терминальный комплекс	контейнеровоз	1,5	6	маневрирование автомобиля	тягач с полуприцепом	0,033
7	маневрирование автомобиля-контейнеровоза	контейнеровоз	0,066	7	снятие контейнера с автомобиля	тягач с полуприцепом	0,1
8	ожидание снятия контейнера с автомобиля-контейнеровоза	контейнеровоз	0,282	8	подготовка магистрального транспорта к погрузке	ж/д транспорт	0,093
9	снятие контейнера с автомобиля-контейнеровоза	контейнеровоз + козловой кран	0,165	9	погрузка контейнера на магистральный транспорт	ж/д транспорт	0,1
10	ожидание погрузки на магистральный транспорт	-	0,282	10	транспортирование контейнера на магистральном транспорте на вторую ж/д станцию	ж/д транспорт	62
11	подготовка магистрального транспорта к погрузке	ж/д транспорт	0,093	11	выгрузка контейнера с магистрального транспорта	ж/д транспорт	0,1
12	погрузка контейнера на магистральный транспорт	ж/д транспорт	0,165	12	маневрирование автомобиля	тягач с полуприцепом	0,033
13	транспортирование контейнера на магистральном транспорте на второй терминальный комплекс	ж/д транспорт	72	13	подготовка автомобиля к погрузке	тягач с полуприцепом	0,093
14	ожидание снятия контейнера с магистрального транспорта	ж/д транспорт	0,282	14	погрузка контейнера на автомобиль	тягач с полуприцепом	0,1
15	выгрузка контейнера с магистрального транспорта	козловой кран	0,165	15	перевозка контейнера на площадку грузополучателя	тягач с полуприцепом	0,21
16	маневрирование автомобиля-контейнеровоза	контейнеровоз	0,066	16	маневрирование автомобиля-контейнеровоза	тягач с полуприцепом	0,033
17	подготовка автомобиля-контейнеровоза к погрузке	контейнеровоз	0,093	17	снятие контейнера	тягач с полуприцепом	0,1

Существующая технология (фактические данные)				Предлагаемая технология (расчетные данные)			
№	Операция	Оборудование	Время, ч	№	Операция	Оборудование	Время, ч
18	ожидание погрузки автомобиля-контейнеровоза	контейнеровоз	0,282	18	выгрузка грузов из контейнера	вилочный погрузчик	0,747
19	погрузка контейнера на автомобиль-контейнеровоз;	контейнеровоз + козловой кран	0,165	19	подача подвижного состава на ж/д станцию	тягач с полуприцепом	0,21
20	перевозка контейнера на площадку грузополучателя	контейнеровоз	4				
21	маневрирование автомобиля-контейнеровоза	контейнеровоз	0,066				
22	ожидание снятия контейнера с автомобиля-контейнеровоза	контейнеровоз	0,282				
23	снятие контейнера	контейнеровоз	0,165				
24	выгрузка грузов из контейнера	вилочный погрузчик	0,747				
25	подача ПС на второй терминальный комплекс	контейнеровоз	4				
Итого:			86,219	Итого:			65,005

Анализ таблицы 2 показал, что:

1. Существующая технология доставки контейнеров по выбранному маршруту состоит из 25 операций, а предлагаемая – из 19. Таким образом, новая технология позволяет практически на четверть сократить этапы доставки (24%).

2. Новая технология позволяет сократить время доставки на 24,6% за счет сокращения количества операций.

3. Время работы автомобильного транспорта по существующей технологии 13,238 ч, а железнодорожного транспорта – 72 ч. По новой технологии время работы автомобильного транспорта уменьшается до 1,298 ч, а время доставки ж/д транспортом сокращается на 16% – до 62 ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Расчетные показатели организации доставки контейнеров по существующей и предлагаемой технологии представлены в таблице 3.

В результате обработки полученных данных было установлено, что новая технология смешанных контейнерных перевозок грузов при использовании контейнера новой конструкции с грузоподъемными стойками в рассмотренном примере позволяет:

1) сократить количество операций доставки на 24%, за счет того, что новая конструкция контейнера допускает выполнять часть операций самостоятельно, а также исключает необходимость ожидания освобождения погрузочно-разгрузочных механизмов;

2) уменьшить время доставки на 24,6% и время работы автомобильного транспорта в 10 раз, так как конструкция контейнера дает возможность осуществлять подъем и опускание на платформу подвижного состава самостоятельно, а следовательно, исключается необходимость применения специального оборудования, что позволяет грузить, разгружать и перегружать контейнеры на любой ж/д станции необорудованной специальным оборудованием;

Таблица 3
Расчетные показатели организации доставки контейнеров
по существующей и предлагаемой технологии

Table 3
The estimates of the organization of the container transportation according
to the current and proposed technology

Показатель	Существующая технология (фактические данные)	Предлагаемая технология (расчетные данные)
Количество этапов доставки	25 этапов	19 этапов
Время доставки	86,219 ч	65,005 ч
Время работы автомобильного транспорта	13,238 ч	1,298 ч
Производительность автомобильного транспорта	10,36 т/ч	34,91 т/ч
Себестоимость перевозки автомобильным транспортом за езду	21 181 руб/езд	1 817 руб/езд
Себестоимость перевозки автомобильным транспортом за год	1 694 464 руб	145 360 руб

3) получить годовой экономической эффективности в размере 1,55 млн руб. только по одному рассмотренному маршруту.

Таким образом, предлагаемая технология доставки контейнеров с грузоподъемными стойками актуальна для внедрения, поскольку позволяет сократить время доставки и достичь экономического эффекта.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе дано описание созданной авторами новой конструкции контейнера с грузоподъемными стойками, применение которого потребовало изменения технологии доставки. Такая технология была разработана для конкретного примера доставки грузов в крупнотоннажных контейнерах с Волжского пивоваренного завода до г. Новосибирска. Для оценки ее эффективности смоделирован процесс доставки по существующей и предлагаемой технологии доставки и определены его показатели.

Анализ полученных результатов расчетов показал, что новая технология смешанных контейнерных перевозок грузов с участием автомобильного и железнодорожного транспорта в Российской Федерации при использовании контейнера новой конструкции позволяет:

1) уменьшить расстояние доставки контейнеров как ж/д, так и автомобильным транспор-

том за счет возможности грузить, разгружать и перегружать контейнеры не только на контейнерных терминалах, а на обычных грузовых ж/д станциях;

2) сократить количество операций доставки (до 25%), за счет того, что новая конструкция контейнера позволяет выполнять часть технологических операций самостоятельно;

3) уменьшить время доставки (до 30%), что дает существенный социальный эффект при доставке медицинских, скоропортящихся и других срочных грузов в больших объемах;

4) значительно повысить эффективность использования ПС автомобильного транспорта в процессе доставки, в частности производительность, за счет уменьшения расстояния перевозки и простоев, связанных с погрузочно-разгрузочными работами;

5) исключить обязательное применение специального оборудования и связанные с этим затраты, так как конструкция контейнера позволяет осуществлять подъем и опускание на платформу подвижного состава самостоятельно.

Годовая экономическая эффективность применения новой технологии для доставки контейнеров с грузоподъемными стойками только по одному рассмотренному маршруту составляет 1,55 млн руб.

Таким образом, предлагаемая технология

доставки контейнеров с грузоподъемными стойками при внедрении позволяет достичь социального и экономического эффекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вельможин А.В., Гудков В.А., Миротин Л.Б. Теория организации и управления автомобильными перевозками : логистический аспект формирования перевозочных процессов : монография. Волгоград : РПК «Политехник», 2001. 177 с.
2. Вельможин А.В. Измерение эффективности автоперевозок : монография. Волгоград, 1985. 144 с.
3. Вельможин А.В. Управление автотранспортным предприятием : монография. Волгоград, 1973. 159 с.
4. Джангалиев Б.С., Куликов А.В. Перевозка грузов в логистических системах дорожного строительства // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 1, № 1. С. 21–26.
5. Золотарев А.А. Повышение маневренности малотоннажного автопоезда с одноосным прицепом // Вестник магистратуры. 2017. № 6 (69), ч. 5. С. 179–181.
6. Раюшкина А.А., Морозова И.А. Обоснование критериев эффективности реализации стратегии повышения конкурентоспособности автотранспортных предприятий // Аудит и финансовый анализ. 2019. № 1. С. 144–148.
7. Раюшкина А.А., Ширяев С.А., Балакина Е.В. Повышение сохранности сельскохозяйственных грузов при перевозках как фактор конкурентных преимуществ автомобильного транспорта : монография. ВолгГТУ. Волгоград, 2019. 140 с.
8. Раюшкина А.А., Морозова И.А. Стратегия развития рынка транспортных услуг и транспортной инфраструктуры : монография; ВолгГТУ. Волгоград, 2018. 127 с.
9. Раюшкина А.А., Морозова И.А. Формирование конкурентоспособности услуг автомобильного транспорта на различных иерархических уровнях хозяйствования // Вестник Астраханского гос. технического ун-та (Вестник АГТУ). Сер. Экономика. 2019. № 1. С. 137–144.
10. Раюшкина А.А., Раюшкин Э.С., Морозова И.А. Формирование системы информационной поддержки стратегического развития рынка автомобильных перевозок // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение. 2019. Т. 58, № 2. С. 160–171.
11. Павлов В.О., Гудков Д.В. Организация перевозки алюминиевого порошка в международном сообщении с использованием автомобильного транспорта и паромной переправы // Молодой учёный. 2017. № 17(151), ч. 1. С. 66–68.
12. Полонский А.М. Резервы автотранспортного предприятия : монография. Волгоград, 1980. 46 с.
13. Саяпин В.В., Ляпин Н.А., Ширяев С.А. Подходы к определению показателей конкурентоспособности грузового автотранспортного предприятия // Молодой учёный. 2015. № 6 (86), ч. 2. С. 210–213.
14. Смоляев М.М., Ляпин Н.А. Методологические основы реструктуризации автотранспортных

комплексов в условиях рыночной экономики : монография; НПСТ «Трансконсалтинг». Москва, 2005. 59 с.

15. Ханин Д.М. Новая технология доставки молочных продуктов в городах с использованием специализированных контейнеров // Известия ВолгГТУ. Сер. Наземные транспортные системы. Вып. 12. Волгоград, 2015. № 6 (166). С. 60–63.

16. Ханин Д.М. Формирование методики выбора оптимального подвижного состава для мелко-контейнерной технологии // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 4 (58), ч. 4. С. 117–121.

17. Ширяев С.А., Кодиленко О.С., Кодиленко А.С. Зарубежный опыт организации транспортного обслуживания населения и возможности его использования в России // Молодой учёный. 2016. № 7 (111), ч. 2. С. 218–220.

18. Ширяев С.А., Кашеев С.А. Особенности функционирования системы доставки грузов в торговую сеть автомобильным транспортом : монография; ВолгГТУ. Волгоград, 2015. 159 с.

19. Воркут А.И., Калинин А.Г. Моделирование обслуживания станции автомобильным транспортом как накапливающей системы // Автомобильный транспорт. Киев : Техника, 1975. С. 24–30.

20. Гронин Д.П., Ширяев С.А. Повышение эффективности функционирования системы доставки грузов автомобильным транспортом с использованием терминальных комплексов : монография. ВолгГТУ. Волгоград, 2019. 152 с.

21. Гудков Д.В., Искаков А.К., Кашманов Р.Я. Анализ программного обеспечения для моделирования транспортной логистики предприятия // Международный союз учёных. «Наука. Технологии. Производство». 2014. № 4. С. 37–40.

22. Гудков В.А., Турпищева М.С., Нургалиев Е.Р. Логистические модели систем обработки грузовых контейнеров // Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. 2012. № 2. С. 13–17.

23. Рябов И.М., Горина В.В. Новая эффективная технология контейнерных перевозок автомобильным транспортом // Грузовик. 2018. № 6. С. 45–48.

24. Рябов И.М., Горина В.В. Смешанные перевозки в саморазгружающихся контейнерах // Мир транспорта. 2018. Т. 16, № 6. С. 34–41.

25. Рябов И.М., Горина В.В. Технологии перевозки контейнеров с использованием грузоподъемных стоек // Мир транспорта. 2016. Т. 14, № 4 (65). С. 52–61.

REFERENCES

1. Velmogin A.V., Gudkov V.A., Mirodin L.B. *Teoriya organizatsii i upravleniya avtomobil'nyimi perevozkami: logisticheskij aspekt formirovaniya perevozochnyh processov: monografija* [Automobile transportation organization and management: a logistics aspect of a transportation process formation]. Volgograd: PKK "Polytechnic", 2001: 177. (in Russian)
2. Velmogin A.V. *Izmerenie jeffektivnosti avtoperevozok: monografija* [Automobile transportation efficiency measurement]. Volgograd, 1985: 144. (in Russian)

3. Velmogin A.V. Upravlenie avtotransportnym predpriyatiem: monografiya [Motor transport enterprise management]. Volgograd, 1973: 159. (in Russian)
4. Jangaliyev B.S., Kulikov A.V. Perevozka грузов v logisticheskikh sistemah dorozhnogo stroitel'stva [Cargo transportation in logistics systems of road construction]. *World of Science and Innovation*. 2016; 1, vol. 1: 21-26. (in Russian)
5. Zolotarev A.A. Povyshenie manevrennosti malotonnazhnogo avtopoezda s odnoosnym pricepom [The increase of maneuverability of low-capacity road train with a single-axle trailer]. *Journal of Master's Degree*. 2017; 6 (69), part 5: 179-181. (in Russian)
6. Rayushkin A.A., Morozova I.A. [Justification of criteria of efficiency of implementation of strategy of increase of competitiveness of motor enterprises]. *Audit and financial analysis*. 2019; 1: 144-148. (in Russian)
7. Rayushkin A.A., Shiryayev S.A., Balakin E.V. Povyshenie sohrannosti sel'skhozajstvennykh грузов pri perevozkah kak faktor konkurentnykh preimushhestv avtomobil'nogo transporta: monografiya [Improvement of safety of agricultural cargoes during transportation as a factor of competitive advantages of road transport]. VolgGTU, Volgograd, 2019: 140. (in Russian)
8. Rayushkin A.A., Morozova I.A. Strategiya razvitiya rynka transportnykh uslug i transportnoj infrastruktury: monografiya [Strategy of development of transport services market and transport infrastructure]. VolgGTU, Volgograd, 2018:127. (in Russian)
9. Rayushkin A.A., Morozova I.A. Formirovanie konkurentosposobnosti uslug avtomobil'nogo transporta na razlichnykh ierarhicheskikh urovnjah hozjajstvovaniya [Formation of competitiveness of road transport services at various hierarchical levels of management]. *Journal of Astrakhan State Department of Technical Affairs (Journal of AGTU)*. 2019; 1 (March): 137-144. (in Russian)
10. Rayushkin A.A., Rayushkin E.S., Morozova I.A. Formirovanie sistemy informacionnoj podderzhki strategicheskogo razvitiya rynka avtomobil'nykh perevozk [Formation of information support system for strategic development of automobile transportation market]. *Modern knowledge-intensive technologies. Regional Annex*. 2019; 58, no. 2: 160-171. (in Russian)
11. Pavlov V.O., Gudkov D.V. Organizatsiya perevozki aljuminievogo poroshka v mezhdunarodnom soobshhenii s ispol'zovaniem avtomobil'nogo transporta i paromnoj perepravy [Organization of transportation of aluminium powder in international traffic using road transport and ferry crossing]. *Young scientist*, 2017; 17 (151) (April), part 1: 66-68. (in Russian)
12. Polonsky A.M. *Rezervy avtotransportnogo predpriyatija: monografiya* [Motor transport company reserves]. Volgograd, 1980: 46. (in Russian)
13. Sayapin V.V., Lyapin N.A., Shiryayev S.A. Podhody k opredeleniyu pokazatelej konkurentosposobnosti gruzovogo avtotransportnogo predpriyatija [Approaches to determine the indicators of competitiveness of cargo motor transport enterprise]. *Young Scientist*. 2015; 6 (86), part 2: 210-213. (in Russian)
14. Smoliaev M.M., Lapin N.A. *Metodologicheskie osnovy restrukturyzatsii avtotransportnykh kompleksov v usloviyakh rynochnoj jekonomiki: monografiya* [Methodological foundations of restructuring of motor transport structure in a market economy]. 2005: 59. (in Russian)
15. Hanin D.M. Novaya tehnologiya dostavki molochnykh produktov v gorodah s ispol'zovaniem specializirovannykh kontejnerov [New technology for delivery of dairy products in cities using specialized containers]. *Izvestia VolgGTU*. 2015; issue. 12, no. 6 (166): 60-63. (in Russian)
16. Hanin D.M. Formirovanie metodiki vybora optimal'nogo podvizhnogo sostava dlja melkokontejnernoj tehnologii [Formation of the method of selection of optimal rolling stock for low-capacity containers technology]. *International Research Journal*. 2017; 4 (58), part 4: 117-121. (in Russian)
17. Shiryayev S.A., Kodilenko O.S., Kodilenko A.S. Zarubezhnyj opyt organizatsii transportnogo obsluzhivaniya naseleniya i vozmozhnosti ego ispol'zovaniya v Rossii [Foreign experience of organization of transport services of the population and possibility of its use in Russia]. *Young scientist*. 2016; 7 (111), part 2: 218-220. (in Russian)
18. Shiryayev S.A., Kashev S.A. *Osobennosti funkcionirovaniya sistemy dostavki грузов v trgovuju set' avtomobil'nykh transportom: monografiya* [The features of the cargo transportation system to the trading network by road transport]. VolgGTU, Volgograd, 2015: 159. (in Russian)
19. Vorkut A.I., Kalinin A.G. Modelirovanie obsluzhivaniya stantsii avtomobil'nykh transportom kak nakaplivajushhej sistemy [Modelling of maintenance of a station by motor transport as an accumulating system]. *Road transport*, Kiev: Technology, 1975: 24-30. (in Russian)
20. Gronin D.P., Shiryayev S.A. *Povyshenie jeffektivnosti funkcionirovaniya sistemy dostavki грузов avtomobil'nykh transportom s ispol'zovaniem terminal'nykh kompleksov: monografiya* [Efficiency improvement of a cargo delivery system by motor transport using terminal complexes]. VolgGTU, Volgograd, 2019:152. (in Russian)
21. Gudkov D.V., Isakov A.K., Kashmanov R.J. Analiz programnogo obespecheniya dlja modelirovaniya transportnoj logistiki predpriyatija [The analysis of the software for modelling transport logistics of the enterprise]. *International Union of Scientists. "Science. Technologies. Production"*. 2014; 4: 37-40. (in Russian)
22. Gudkov V.A., Turpischeva M.S., Nurgaliyev E.R. Logisticheskie modeli sistem obrabotki gruzovykh kontejnerov [Logistics models of cargo container processing systems]. *Journal of Astrakhan State Technical*. 2012; 2: 13-17. (in Russian)
23. Ryabov I.M., Gorina V.V. Novaya jeffektivnaja tehnologiya kontejnernykh perevozk avtomobil'nykh transportom [New effective technology of container transportation by motor transport]. *Truck*. 2018; 6: 45-48. (in Russian)
24. Ryabov I.M., Gorina V.V. Smeshannye perevozki v samorazgruzhajushhihsja kontejnerah [Mixed transportations in self-unloading containers]. *World of Transport*. 2018; vol. 16, no. 6: 34-41. (in Russian)
25. Ryabov I.M., Gorina V.V. Tehnologii perevozki kontejnerov s ispol'zovaniem gruzopod'jomnykh stoek

[Container transportation technologies using load lifting stays]. *World of Transport*. 2016; 14, 4 (65): 52-61. (in Russian)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Рябов Игорь Михайлович. Разработаны теоретические положения.

Горина Вера Валерьевна. Осуществлены исследования.

CONTRIBUTION OF COAUTHORS

Ryabov Igor Mikhaylovich – has developed the theoretical foundations.

Gorina Vera Valerievna – has implemented the studies.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Рябов Игорь Михайлович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Автомобильные перевозки» Волгоградского государственного технического универ-

ситета, ORCID 0000-0001-6386-0698 (400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, e-mail: rjabov1603@mail.ru).

Горина Вера Валерьевна – аспирант 3-го курса кафедры «Автомобильные перевозки» Волгоградского государственного технического университета ORCID 0000-0001-9812-8931 (400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, E-mail: im_ia@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Igor Riabov – dr. of Tech. Sci., Professor of the Automobile Transportation Department, Volgograd State Technical University, ORCID 0000-0001-6386-0698 (400005, Volgograd, Lenin Avenue, 28, e-mail: rjabov1603@mail.ru).

Vera Gorina – a third year graduate student of the Automobile Transportation Department, Volgograd State Technical University, ORCID 0000-0001-9812-8931 (400005, Volgograd, Lenin Avenue, 28, e-mail: im_ia@mail.ru).

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА



PART III. CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

ПРИМЕНЕНИЕ ГРЕБЕНЧАТЫХ УПОРОВ ДЛЯ ОБЪЕДИНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ И ДОЩАТО-ГВОЗДЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ МОСТА

В.А. Уткин, И.И. Готовцев
ФГБОУ ВО «СибАДИ»,
г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Во всем мире строительство мостов с использованием древесных материалов переживает настоящий бум. Передовиками деревянного мостостроения много лет считаются США, где до 80% мостов делается из дерева или материалов на его основе. В России деревянное мостостроение находится в глубоком кризисе и не развивается более 50 лет, хотя потребность в деревянных мостах велика и подобные конструкции могли бы решить немало проблем с российскими дорогами, особенно на периферии. Отсталость проявляется в устаревших конструктивных формах, в несоответствии их ныне действующим нагрузкам, в низкой долговечности, в незащищенности от атмосферных воздействий и т.п., хотя зарубежный опыт свидетельствует об обратном. Статья посвящена внедрению в практику строительства мостов новых дощато-гвоздевых пролетных строений, отвечающих современным требованиям по грузоподъемности, надежности и долговечности.

Материалы и методы. Авторами предложена и описывается новая конструкция пролетного строения из дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков и включенной в совместную работу с ними железобетонной плиты проезжей части. В качестве соединительных элементов между элементами конструкции предложены специальные упоры с гребенчатыми закреплениями в железобетонной плите и нагельными со стальными накладками соединениями с деревянными конструкциями. Исследование напряженно-деформированного состояния предложенной конструкции выполнено с использованием теории составных стержней.

Результаты. Применение монолитной железобетонной плиты проезжей части позволяет защитить несущие деревянные конструкции от увлажнения осадками и загрязнения, от растрескивания под воздействием солнечного излучения и радиации и обеспечить повышение долговечности мостов не менее 50 лет. Применение защитного антисептирования гарантирует обеспечение указанного срока службы, применение предлагаемых соединений для обеспечения совместной работы железобетонной плиты и несущих деревянных конструкций существенно повышает эффективность деревобетонных мостов по сравнению с металлическими и железобетонными. Читинская, Иркутская, Архангельская области, Хабаровский край, республики Саха (Якутия), Бурятия, Карелия, богатые лесом регионы, в которых деревянные мосты еще сохранились и эксплуатируются, больше всех нуждаются в применении деревобетонных пролетных строений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: деревобетонные мосты, монолитная железобетонная плита, дощато-гвоздевой блок, гребенчатые упоры, цилиндрические нагели, несущая способность.

Поступила 24.03.20, принята к публикации 30.06.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Уткин В.А., Готовцев И.И. Применение гребенчатых упоров для объединения железобетонной плиты и дощато-гвоздевой конструкции пролетного строения моста. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-414-427>

© Уткин В.А., Готовцев И.И.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-414-427>

CRESTED SHEAR CONNECTORS APPLICATION TO COMBINE REINFORCED CONCRETE SLAB AND PLANK-NAILED STRUCTURE OF BRIDGE SPAN

V.A. Utkin, I.I. Gotovtsev

FSBEI HE (Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education) Siberian State Automobile and Highway University (SibADI),
Omsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. The construction of bridges using timber materials is experiencing a real boom throughout the world. The USA is considered to be a leader, where 80% of the bridges are made of timber or materials based on it. In Russia timber bridge construction has been stagnating for the last 50 years, although there is a need for these bridges. Timber structures could solve many problems with Russian roads, especially in remote areas. Timber structures are widely considered to be outdated, so they cannot meet current requirements of load capacity and durability, also they are vulnerable to atmospheric influences, etc. But foreign experience proves the contrary. The article is devoted to the implementation of new plank-nailed spans that meet current requirements of load capacity, reliability and durability.

Materials and methods. The authors suggest and describe a new span structure. The span consists of plank-timber-nailed-dowel blocks and a reinforced concrete slab generating a composite action. Some special crested shear connectors are suggested as combining elements. The top part works as flexible shear connectors in a reinforced concrete slab. The bottom part works as dowels with steel joints and timbers structures. The investigation of the stress-strain state of the structure has been completed within "compound beam" theory.

Results. The application of the cast-in-place reinforced concrete slab allows to protect supporting timber structures against atmospheric influences, dirt, cracking from the sun rays, radiation and provides at least 50-year durability. The timber preservation provides a specified service life. The application of suggested connection with composite action between a reinforced concrete slab and supporting timber structures increases effectiveness of the composite timber concrete structure compared to steel and reinforced concrete structures. Trans-Baikal territory, Irkutsk and Arkhangelsk Regions, Khabarovsk Territory, the Republics of Sakha (Yakutia), Buriatia, Karelia are in the greatest need of the timber concrete composite spans, because they have a lot of forest resources and old timber bridges that are still in service.

KEYWORDS: timber concrete composite bridge, crested shear connectors, cast reinforce concrete slab, plank-nailed block, load capacity.

Submitted 24.03.20, revised 30.06.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.

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

For citation: Utkin V.A., Gotovtsev I.I. Crested shear connectors application to combine reinforced concrete slab and plank-nailed structure of bridge span. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-414-427>

© Utkin V.A., Gotovtsev I.I.



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

ВВЕДЕНИЕ

Впервые конструкция пролетного строения [1, 2, 3] с коробчатыми дощато-брусчатыми блоками¹ была применена в 2005 г. на мосту через р. Ушайра в Омской области. В качестве главных несущих элементов конструкции были приняты 4 коробчатых блока и проезжая часть из поперечной брусчатой деревоплиты и ездового полотна из железобетонных плит ПДМ. В настоящее время эта конструкция применена на ряде мостов [4], освоены технология изготовления, транспортировка и монтаж, подготовлены специалисты, способные выполнять необходимый комплекс работ. Изготовление конструкций не требует сложного вспомогательного оборудования, отличается простотой строительных процессов и возможностью использования местных рабочих кадров. Стоимость мостов с пролетными строениями из ДГБ в сравнении с равными пролетными строениями из железобетонных балок оказалась на 40–50% дешевле. Применение коробчатых блоков с изоляционным покрытием верхней поверхности мостопластом обеспечило 100-процентную защиту конструкции блоков от увлажнения при сохранении влажности древесины в пределах 12%. Эти условия гарантируют длительный (не менее 50 лет) срок службы несущих блоков. Вместе с тем брусчатая горизонтально уложенная на блоки и покрытая гидроизоляцией брусчатая деревоплита с подуклонкой и железобетонными плитами дорожного покрытия, водоотводными лотками,

деревянными тротуарами и колесоотбойными брусками не обеспечивает качественную водозащиту деревянных конструкций проезжей части. Особенно подвержены увлажнению, гниению и растрескиванию концевые участки брусков деревоплиты под тротуарами, колесоотбойные бруска и бруска деревоплиты в местах повреждения гидроизоляции под швами между плитами покрытия.

Наиболее совершенной конструкцией является пролетное строение [5] из дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков с железобетонной плитой проезжей части² (рисунок 1).

Данное пролетное строение состоит из установленных на опоры по эпюре поперечного уклона коробчатых дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков 1, объединенных железобетонной плитой 2, уложенной непосредственно на изолированную поверхность 3 и закрепленной болтами 4 к поясным брускам 5, при этом железобетонная плита составлена из двух зеркально-симметричных блоков 2а и 2б, объединенных между собой по оси моста продольным швом 6 из монолитного железобетона. Поверх гидроизоляционного покрытия 3 уложено асфальтобетонное покрытие 10.

Применяемая в качестве поперечной конструкции железобетонная плита, имея более высокую поперечную жесткость в сравнении с деревоплитой, позволяет снизить временную нагрузку на блоки и увеличить грузоподъемность как отдельного блока, так и всего пролетного строения в целом.

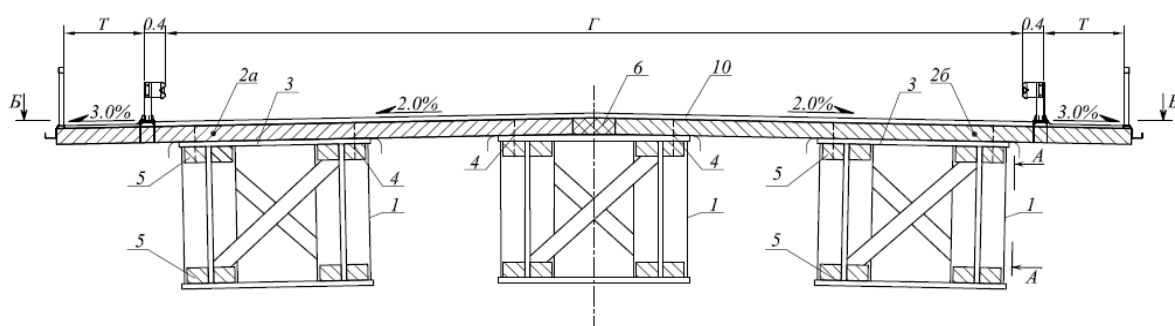


Рисунок 1 – Пролетное строение с железобетонной плитой проезжей части

Figure 1 – The span with reinforced concrete slab of a bridge road

¹ Патент РФ на изобретение RU 2169812, дощато-гвоздевое пролетное строение / Уткин В. А., Пузиков В. И.// М.: 27.06.2001.

² Патент РФ на изобретение RU 2574240, пролетное строение из коробчатых дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков с железобетонной плитой/ Уткин В. А., Кобзев П.Н., Пузиков В. И., Казанцев Б.В.// М.: 10.09.2014.

Исключение из поперечной конструкции пролетного строения брусчатой деревоплиты приводит к существенному снижению материалоемкости конструкции, уменьшению трудозатрат и стоимости строительства, а также полному устранению из конструкции материала и очагов, подверженных биологическому разрушению. Все это в целом отвечает современным требованиям, связанными с обеспечением жизнестойкости, надежности и срока службы не менее 50 лет для капитальных мостов. Недостаток этой конструкции состоит в неиспользовании железобетонной плиты проезжей части для совместной работы с несущими дощато-брусчатыми блоками и в излишней материалоемкости конструкции пролетного строения в целом.

Об эффективном использовании совместной работы железобетонной проезжей части и металлических балок свидетельствует многолетний опыт проектирования и строительства сталежелезобетонных мостов. Применение сталежелезобетонных пролетных строений было начато в конце 40-х и начале 50-х годов прошлого века и получило широкое распространение в большинстве стран мира [6, 7, 8, 9, 10]. Сталежелезобетонные элементы являются составными стержнями, в которых стальные и железобетонные части соединены объединительными швами для совместной работы. Средствами объединения, как правило, служат жесткие стальные выступы-упоры, укрепленные на стальном поясе стальной части посредством сварных (болтовых) соединений, и гибкие упоры в виде приваренных к стальному поясу вертикальных и наклонных анкеров, работающие на изгиб [10]. Основным средством объединения железобетона и стали в СССР стали жесткие упоры, омоноличиваемые со сборными железобетонными плитами в специальных окнах бетоном. Однако 50-летний опыт эксплуатации этих конструкций выявил существенные недостатки, основным из которых было расстройство узлов объединения [11]. В США, Англии, Германии и других странах нашли применение гибкие цилиндрические нагели с головками, привариваемые к верхнему поясу на монтаже специальным сварочным пистолетом. В результате многолетнего опыта наиболее надежным способом объединения железобетонной плиты и стальной конструкции признана зарубежная технология. В настоящее время эта технология признана также и в отечественном мостостроении.

Примерно в то же время появились деревобетонные мосты, вначале в виде бетонной

плиты-покрытия по накату из бревенчатых прогонов, затем по деревоплите и только потом в виде железобетонной плиты по клееным балкам с устройством швов объединения [12]. В США в те годы было построено более 100 деревобетонных мостов, в дальнейшем интерес к этим конструкциям постепенно угас до нуля и возобновился лишь к концу 90-х годов [12, 13, 14, 15, 16]. В СССР этот период характеризуется глубокими исследованиями в области совместной работы железобетонной плиты и клееных балок ученых СибАДИ [17, 18, 19] и Хабаровского политехнического института [20, 21, 22, 23, 24]. В это время были защищены кандидатские диссертации В. И. Кулишом и А. В. Шумахером. Однако широкого применения данные конструкции в мостостроении не получили и были вытеснены из производства массовым строительством более индустриальных и более дорогих балочных железобетонных мостов.

Как уже было отмечено, повышенный интерес к деревобетонным мостам (Timbre concrete composite bridge – ТСС) проявился в конце 1990-х и начале 2000-х годов. В работе [12] дан анализ 75 сооружений ТСС, построенных в этот период в мире. Отмечено, что страны Европы, особенно Финляндия, Швейцария, Англия, Франция, Германия, в которых эти мосты ранее игнорировались, стали наиболее заинтересованными в их применении по сравнению с металлическими и железобетонными конструкциями. К достоинствам мостов ТСС были отнесены: высокие защитные свойства монолитной железобетонной плиты проезжей части на несущие деревянные конструкции от влаги и солнечной радиации, возросшая долговечность и грузоподъемность, конкурентоспособность по стоимости и экологичности в сравнении с другими мостами. Учитывалось и то, что древесина является стабильным природным строительным материалом, возобновляемым природой, производство которого требует небольшого количества энергии. Усилия современных специалистов направлены теперь на разработку более эффективных конструкций и методов использования свойств и достоинств ТСС.

Настоящая работа посвящена конструкции объединения и совместной работе монолитной железобетонной плиты проезжей части деревобетонных пролетных строений мостов с несущими конструкциями из коробчатых дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков [ДГБ].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Предлагается пролетное строение,³ составленное из установленных на опоры по эпюре поперечного уклона дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков, отличающееся от пролетного строения на рисунке 1 тем, что на всю ширину и длину пролетного строения уложена монолитная железобетонная плита 1 (рисунки 2,3). Для объединения плиты с дощато-брусчато-нагельно-гвоздевыми блоками 2 и включения в совместную работу с блоками поясные бруссы 3 верхнего пояса блоков снабжены закрепленными к ним на болтах 4 и распределенными с определенным интервалом по длине пролета стальными парными накладками 5 с гребенчатыми выступами 6, с пазами 7 для арматурных стержней нижней сетки 8 железобетонной плиты 1 и отверстиями 9 для гибких упоров 10, а вместо двух слоев перекрестных досок верхнего пояса на рисунке 1, в промежутках между коробчатыми блоками и с наружной стороны крайних блоков устроено днище 11 несъемной опалубки монолитной железобетонной плиты 1 с последующим бетонированием ее, включением в совместную работу с деревянными блоками 2, устройством гидроизоляции и ездового полотна 12.

В настоящее время в строительстве сталежелезобетонных мостов нашел применение эффективный способ объединения монолитной железобетонной плиты с верхними поясами стальных балок посредством гребенчатых упоров⁴⁵. Гребенчатые упоры являются анкерами в бетоне монолитной плиты проезжей части и воспринимают усилия сдвига и отрыва в объединенной конструкции. Передача усилий от несущей конструкции на бетон и обратно происходит через короткие арматурные стержни (гибкие упоры) и длинные стержни нижней сетки плиты, располагаемые в отверстиях и пазах гребней. Обратная задача, связанная с передачей усилий от железобетонной плиты на стальные балки решается посредством сварки гребенчатых полос и верхних поясов балок. Гребенчатые упоры нашли широкое применение при строительстве

сталежелезобетонных мостов, в частности на МКАД и третьем транспортном кольце г. Москвы [25].

К преимуществам данного способа объединения (в сравнении с гибкими штыревыми упорами) можно отнести снижение металлоёмкости соединений и передачу усилий без концентрации напряжений как в главных балках, так и в бетоне плиты. По результатам экспериментальных исследований, проведенных ОАО ЦНИИС, было выявлено, что разрушение узла объединения происходит по бетону без каких-либо повреждений сварных швов, металла стальной накладки или арматуры. На этом основании представленный способ объединения принят для предлагаемой конструкции деревобетонного пролетного строения моста.

При этом объединение монолитной железобетонной плиты с деревянными поясами дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков посредством гребенчатых упоров становится возможным только при совмещении гребенчатых выступов с двухсторонними стальными накладками, закрепляемыми к боковым граням брусчатых поясов горизонтальными сквозными болтами-нагельными (см. рисунок 3). В этом случае передача усилий от железобетонной плиты на брусчатые пояса может быть осуществлена с помощью известных нагельно-болтовых соединений.

Для принятого соединения расчет гибких стержневых упоров в составе железобетонной плиты может быть выполнен по приложению Я СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* (с Изменением N 1):

из условия прочности бетона по формуле

$$S_h \leq d^2 \cdot \sqrt{10R_b}, \quad (1)$$

из условия среза стали арматуры по формуле

$$S_l \leq 0,063 \cdot d^2 \cdot m \cdot R_y. \quad (2)$$

³ Заявка №2019117816/03(034062) от 07.06.2019.

⁴ Патент № 2110639 РФ. Стыковое соединение монолитной железобетонной плиты и стальной балки сталежелезобетонного пролетного строения моста / А. В. Кручинкин, В. П. Егоров, В. Г. Решетников. – № 97108669/03; заявл. 02.06.1997 г.; опубл. 10.05.1998 г. – Бюл. № 13.

⁵ ОДМ 218.4.003-2009 «Рекомендации по объединению металлических балок с монолитной железобетонной плитой посредством непрерывных гребенчатых упоров в сталежелезобетонных пролетных строениях мостов».

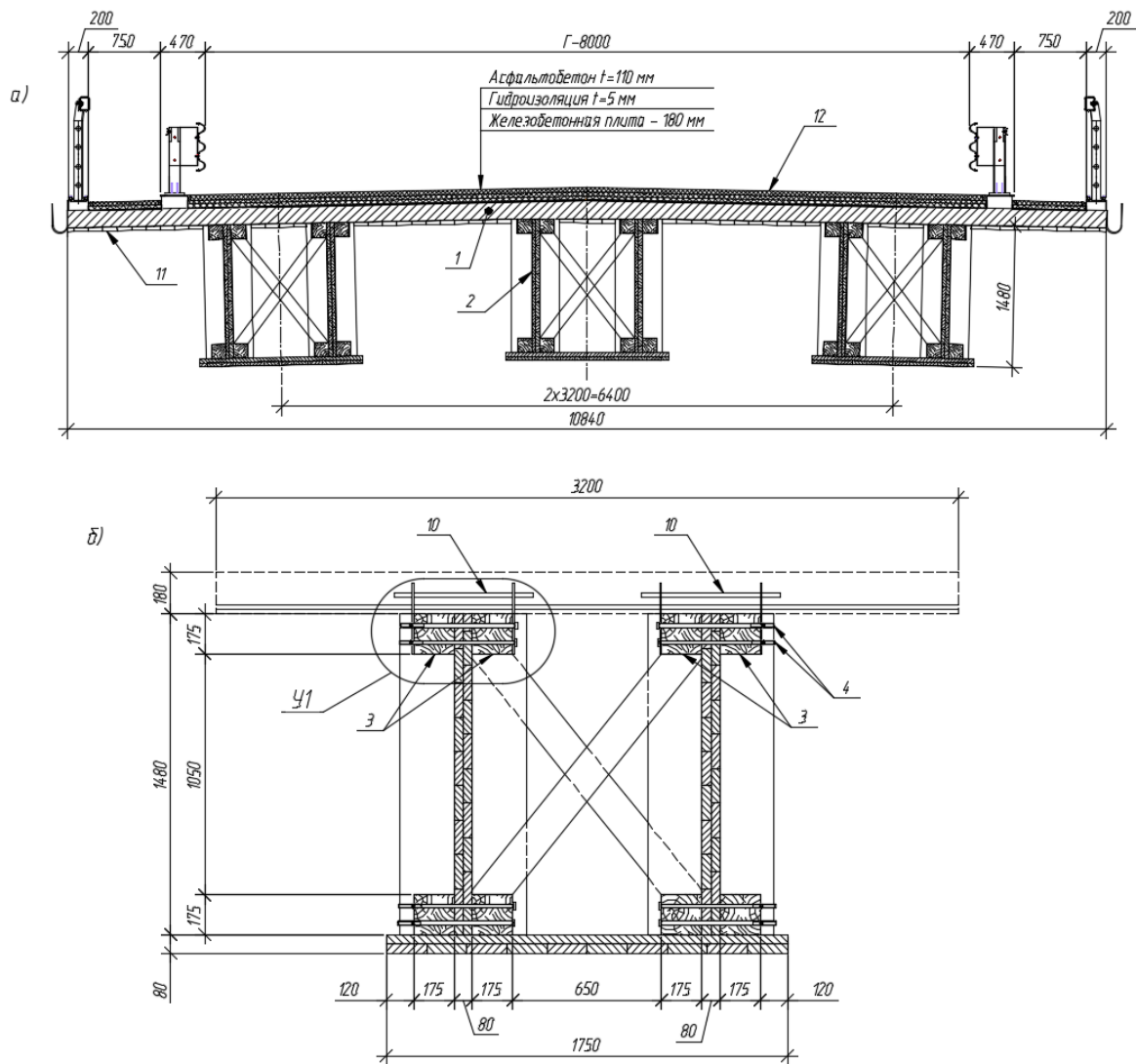


Рисунок 2 – Конструкция комбинированного пролетного строения из дощато-нагельно-гвоздевых блоков и монолитной плиты проезжей части:
а – поперечное сечение пролетного строения;
б – поперечное сечение блока

Figure 2 – The structure of composite plank-dowel-nailed blocks and cast-in-place reinforced concrete slab:
a – the section of the span;
b – the section of the block

Расчетное усилие среза, воспринимаемое бетонными шпонками в пазах гребня определяется по формуле

$$S_b = R_{b, cut} \cdot A_{cut} \cdot n_s \quad (3)$$

В вышеперечисленных формулах: d – диаметр стержня гибкого упора или анкера, см; R_b – расчетное сопротивление бетона на осевое сжатие, МПа; m – коэффициент условий работы; R_y – расчетное сопротивление стали

арматуры растяжению, МПа; $R_{b, cut}$ – расчетное сопротивление бетона на непосредственный сдвиг, кН/м²; $A_{b, cut}$ – площадь, по которой происходит сдвиг (площадь паза (позиция 7, рисунок 3, в)), м²; n_s – число расчетных сдвигов бетона (для каждого паза = 2).

Однако в изданных рекомендациях указано, что влияние бетонных шпонок при работе на сдвиг составляет от 3 до 5% и этим составляющим можно пренебречь, допуская, что все сдвигающие усилия воспринимаются попереч-

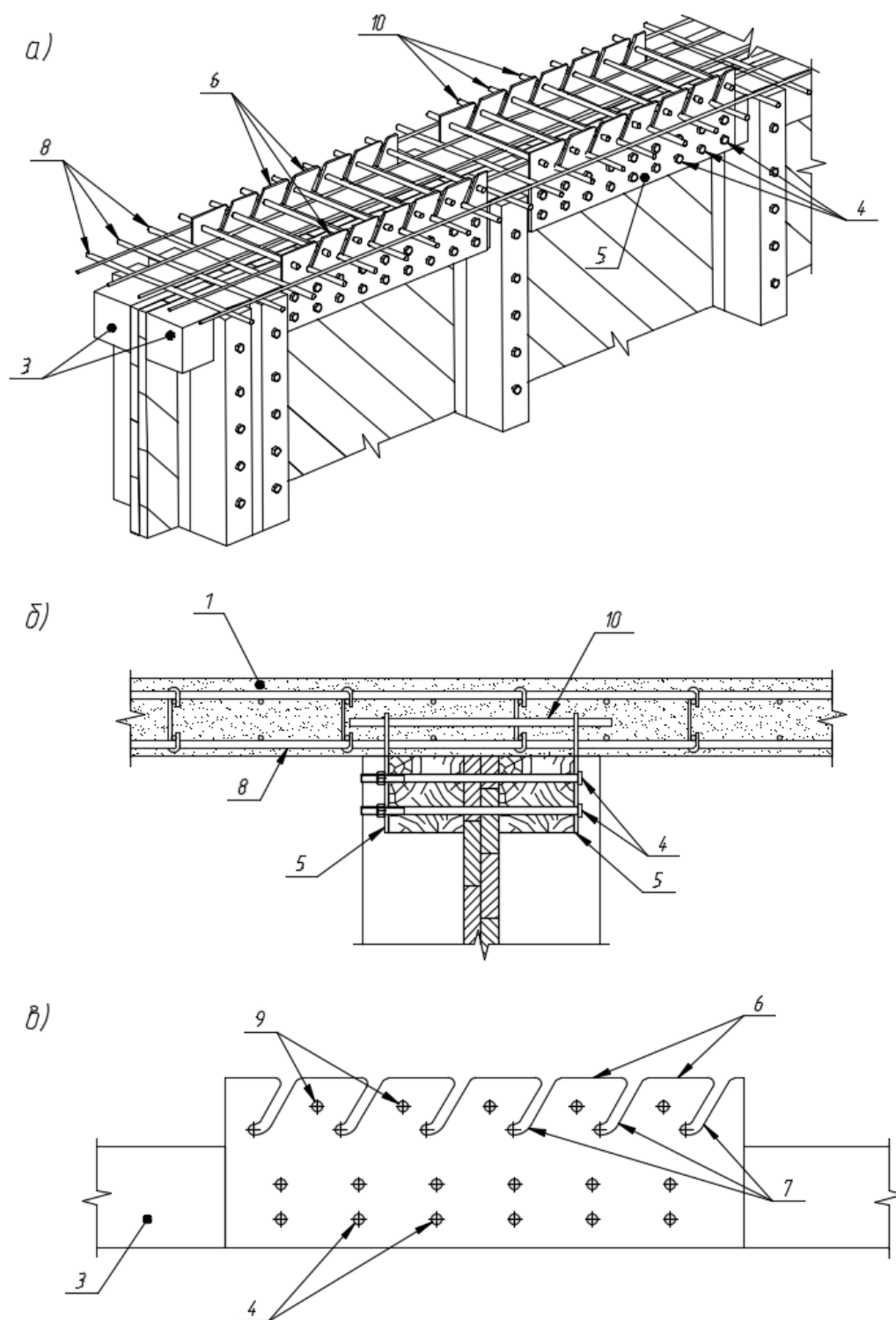


Рисунок 3 – Конструкция узла №1 объединения железобетонной плиты и ДГБ:
 а – изометрический вид (железобетонная плита не показана);
 б – конструкция объединения совместно с железобетонной плитой;
 в – конструкция стыковой гребенчатой накладки

Figure 3 – Unit 1 construction of a reinforced concrete slab and ДГБ:
 а – isometric view (a reinforced concrete slab is not shown);
 б – construction of the a reinforced concrete slab combination;
 в – butt crested strip construction

ной арматурой нижней сетки (позиция 8, рисунок 3) и гибких стержневых упоров (позиция 10, рисунок 3).

Расчет соединения железобетонной плиты с поясными брусками верхнего пояса блоков посредством стальных накладок и нагелей (болтов) может быть выполнен в соответствии СП 35.13330.2011, табл. 10.6. При этом несущая способность нагеля определяется, исходя из условий:

- смятие в средних элементах:

$$T = 0,441 \cdot d \cdot t_1, \quad (4)$$

- изгиб нагеля:

$$T = 1,618 \cdot d^2 + 0,019 \cdot t_1^2. \quad (5)$$

Предлагаемые комбинированные дерево-железобетонные элементы пролетных строений являются составными стержнями и могут быть исследованы методами теории проф. А. Р. Ржаницина⁶.

В основу предлагаемого метода исследования напряженно-деформированного состояния деревобетонного составного прогона с дискретным размещением в швах объединения сосредоточенных связей сдвига принят метод сил для стержневых систем, учитывающий взаимодействие продольных сил и изгибающих моментов от усилий в связях сдвига [26]. Принципиальная расчетная схема (основная система) составного прогона приведена на рисунке 4. Линия приложения парных неизвестных T_i совмещена с центром тяже-

сти верхнего пояса дощато-гвоздевого блока (ДГБ), ось стержня 1 совмещена с линией центров тяжести железобетонной плиты, ось стержня 2, соответственно, с линией центров тяжести дощато-гвоздевого блока.

В общем случае система канонических уравнений метода сил принимает следующий вид:

$$\delta_{11}T_1 + \delta_{12}T_2 + \dots + \delta_{1n}T_n + \Delta_{1F} + \Delta_{\Delta} = 0$$

$$\delta_{21}T_1 + \delta_{22}T_2 + \dots + \delta_{2n}T_n + \Delta_{2F} + \Delta_{\Delta} = 0 \quad (6)$$

$$\dots \dots \dots \delta_{n1}T_1 + \delta_{n2}T_2 + \dots + \delta_{nn}T_n + \Delta_{nF} + \Delta_{\Delta} = 0$$

В матричном виде:

$$A\bar{T} + \bar{\Delta}_F + \bar{\Delta}_{\Delta} = 0, \quad (7)$$

где A – матрица коэффициентов канонических уравнений; $\bar{T}$ – вектор неизвестных усилий сдвига; $\bar{\Delta}_F$ – вектор грузовых перемещений; $\bar{\Delta}_{\Delta}$ – вектор одинаковых перемещений (учет податливости нагельных соединений, принимается равный 0,2 мм).

Коэффициенты при неизвестных и свободные члены уравнений (6,7) определяются по формулам Мора (8,9) с учетом деформаций растяжения-сжатия и изгиба, при этом поперечными деформациями пренебрегаем, работу железобетонной плиты на изгиб не учитываем.

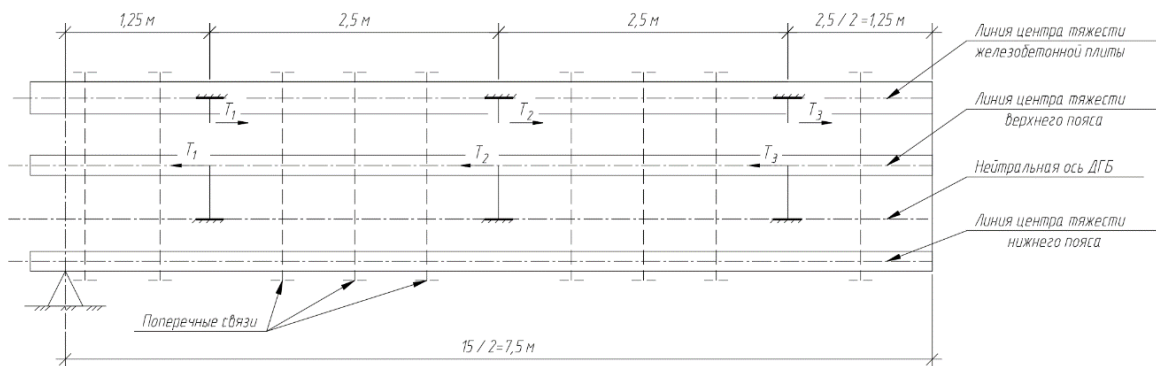


Рисунок 4 – Основная система композитного пролётного строения из дощато-нагельно-гвоздевых блоков и железобетонной плиты

Figure 4 – The basic system of the composite plank-dowel-nailed block and a reinforced concrete slab span

⁶ Ржаницын А.Р. Строительная механика. М.: Высшая школа, 1982. 400 с.

$$\delta_{ij} = \int \frac{\bar{N}_i \cdot \bar{N}_j}{EA} ds + k \cdot \int \frac{\bar{Q}_i \cdot \bar{Q}_j}{EG} ds + \int \frac{\bar{M}_i \cdot \bar{M}_j}{EJ} ds \quad (8)$$

$$\delta_{ij} = \int \frac{\bar{N}_i \cdot \bar{N}_j}{EA} ds + k \cdot \int \frac{\bar{Q}_i \cdot \bar{Q}_j}{EG} ds + \int \frac{\bar{M}_i \cdot \bar{M}_j}{EJ} ds \quad (9)$$

Определение единичных и грузовых перемещений может быть выполнено как по методу Верещагина, так и по методу Симпсона. Для этого необходимо построить комплект единичных $\bar{M}_i$, $\bar{N}_i$ и грузовых $\bar{M}_F$ эпюр для основной системы. Общий вид эпюр представлен на рисунке 5. Как видно из рисунка 5, единичные эпюры имеют простые треугольные и прямоугольные формы и вычисление единичных перемещений может быть легко автоматизировано в программных комплексах MS Excel.

В результате решения системы уравнений (6,7) и определения усилий в связях сдвига к изгибающему моменту в элементах основной системы от внешнего воздействия следует добавить сумму моментов от усилий сдвига, при определении продольных сил необходимо учесть только сумму продольных сил от усилий сдвига [26].

Проверка прочности поясов дощато-гвоздевого блока производится в соответствии с

указаниями СП 35.13330.2011:

- для элементов, работающих на растяжение (сжатие) с изгибом, по формулам:

$$\frac{N_d}{A_{nt}} + \frac{M_d}{W_{nt}} \cdot \frac{R_{dt}}{R_{db}} \leq R_{dt}, \quad (10)$$

$$\frac{N_d}{A_{nt}} + \frac{M_d}{\xi W_{nt}} \cdot \frac{R_{dt}}{R_{db}} \leq R_{ds},$$

в которых N_d и M_d – расчетные значения усилий;

A_{nt} – площадь ослабленного поперечного сечения;

W_{nt} – момент сопротивления ослабленного поперечного сечения;

– коэффициент, учитывающий влияние дополнительного момента от N_d .

Железобетонная плита рассчитывается на осевое сжатие по формуле

$$\frac{N_d}{A} \leq R_b, \quad (11)$$

где A – площадь железобетонной плиты;

R_b – расчетное сопротивление бетона на осевое сжатие.

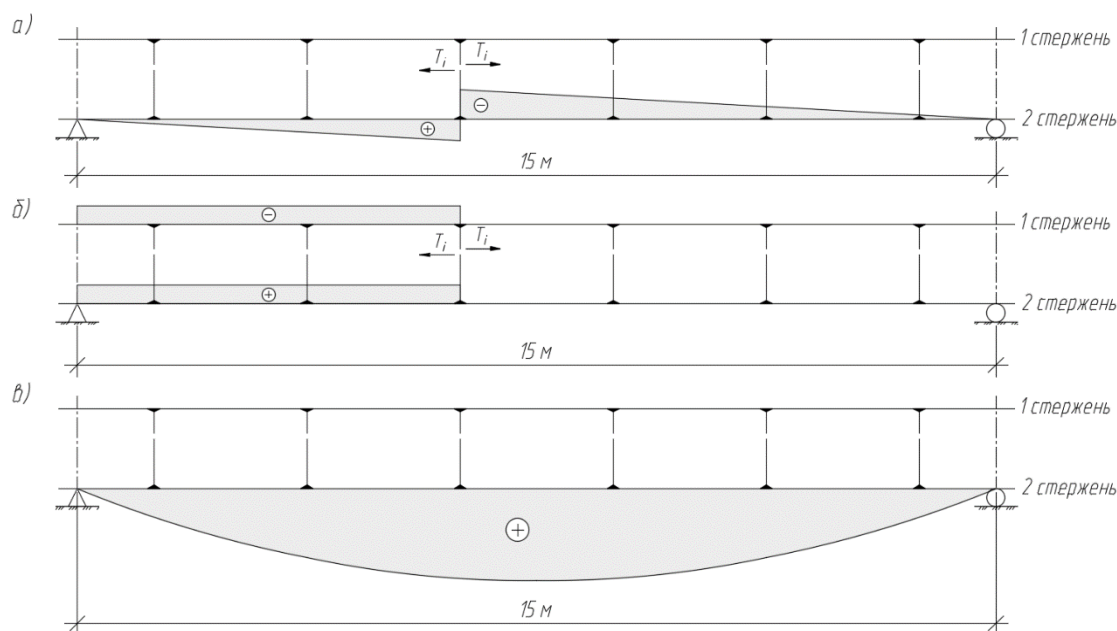


Рисунок 5 – Общий вид единичных и грузовой эпюр в основной системе:
а – единичная эпюра $\bar{M}_i$, б – единичная эпюра, $\bar{N}_i$ в – грузовая эпюра $\bar{M}_F$

Figure 5 – General view of single and load diagrams in the basic system:
a) a single diagram $\bar{M}_i$ б) a single diagram $\bar{N}_i$ в) a load diagram $\bar{M}_F$

РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве примера был выполнен расчет композитного пролетного строения расчетным пролетом 15 м, составленного из трех дощато-нагельного-гвоздевых блоков и объединенной с ними для совместной работы монолитной железобетонной плиты. В составе пролетного строения три блока высотой 1,48 м, плита толщиной 18 см и гребенчатые упоры на рисунке 3.

Расчет выполнен в две стадии: на первой стадии от воздействия собственного веса и бетонируемой железобетонной плиты; на второй стадии – от веса одежды мостового полотна, барьерных, а также перильных ограждений и подвижной временной нагрузки А14 и Н14.

При расчете по второй стадии получены следующие значения сдвигающих усилий:

$$T_1 = T_6 = 2056 \text{ кН}, T_2 = T_5 = 669 \text{ кН}, \\ T_3 = T_4 = -433 \text{ кН}.$$

Делением полученных значений на расстояние между силами сдвига получаем следующие сдвигающие усилия в пересчете на погонный метр:

$$T_1 = T_6 = 822 \text{ кН/м}, T_2 = T_5 = 268 \text{ кН/м}, \\ T_3 = T_4 = -173 \text{ кН/м}.$$

При следующих параметрах: диаметр гибких упоров – 18 мм, класс бетона – В30, арматура – А400, диаметр нагеля – 18 мм, расстояние $t_1 = 430$ мм. Минимальная несущая способность гибкого упора по условиям (1,2) определяется по следующим формулам:

Условие (1):

$$S_h = d^2 \cdot \sqrt{10R_b} = 1,8^2 \cdot \sqrt{10 \cdot 15,5} = 40,3 \text{ кН}.$$

Условие (2):

$$S_h = 0,063 \cdot d^2 \cdot R_y = 0,063 \cdot 1,8^2 \cdot 350 = 71,4 \text{ кН}.$$

Таким образом, определяющим является прочность бетона по условию (1), на 1-м участке необходимое число гибких упоров равняется

$$n_{T1} = \frac{T_1}{S_h} = \frac{822}{40,3} = 20,38 \text{ шт. / м}.$$

Также проверим формулу (3) для одного паза одной полосы

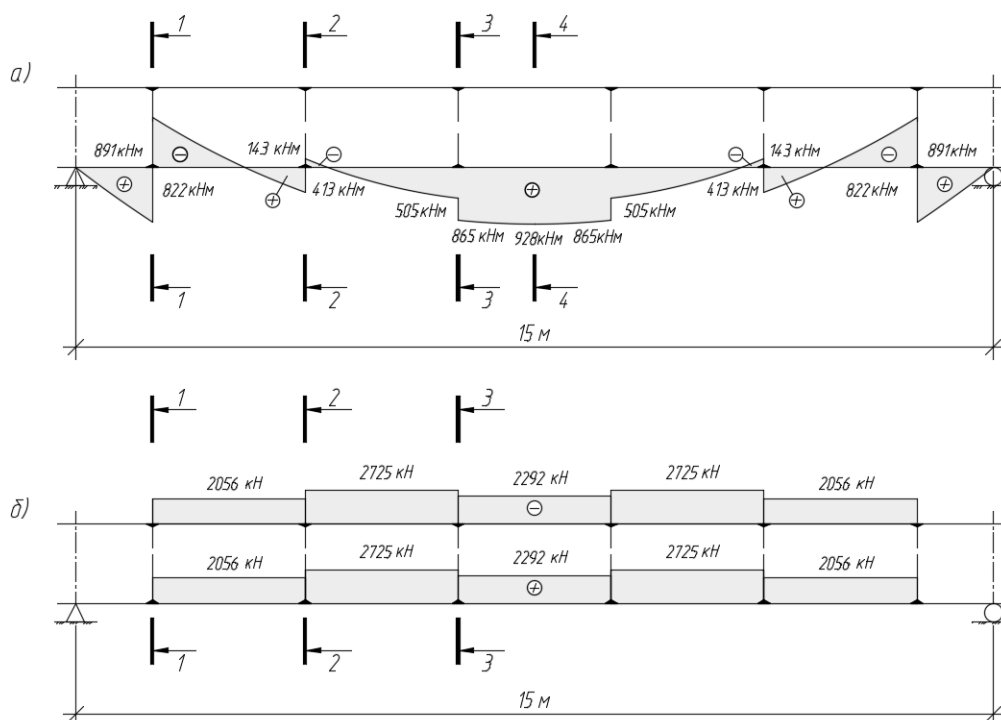


Рисунок 6 – Эпюры расчетных усилий в композитном сечении: а – изгибающих моментов в композитном сечении; б – продольных сил в композитном сечении

Figure 6 – Diagrams of the calculated forces in the composite section: а – bending moments in the composite section; б – longitudinal forces in the composite section

$$S_b = R_{b, cut} \cdot A_{cut} \cdot n_s =$$

$$= 1,55 \cdot 10^3 \cdot 0,0025 \cdot 2 = 7,75 \text{ кН.}$$

Как видно из сопоставления полученных величин, в случае деревобетонных пролетных строений влияние бетонных шпонок при работе на сдвиг составляет более 5% и данный фактор следует учитывать при дальнейшей работе.

Минимальная несущая способность нижней части соединения (нагеля) определяется по условиям (4,5) по следующим формулам:

Условие (4):

$$T = 0,441 \cdot d \cdot t_1 = 0,441 \cdot 1,8 \cdot 43 = 34,1 \text{ кН.}$$

Условие (5):

$$T = 1,618 \cdot d^2 + 0,019 \cdot t_1^2 =$$

$$= 1,618 \cdot 1,8^2 + 0,019 \cdot 43 = 40,4 \text{ кН.}$$

Определяющим является условие (4), число нагелей равняется

$$n_{H1} = \frac{T_1}{S_h} = \frac{822}{34,1} = 24,08$$

шт. / м.

С учетом полученных значений были построены эпюры расчетных изгибающих моментов и продольных сил в деревянной конструкции и железобетонной плите (рисунок 6).

Скачкообразный характер эпюр связан с представлением расчетной схемы приложения сдвигов в виде сосредоточенных сил, совмещенных с серединой панели между конструктивно размещенными вертикальными ребрами жесткости ДГБ и с центрами закрепления к поясным брусам гребенчатых упоров. Фактически же передача сдвигающих усилий от железобетонной плиты к блокам ДГБ и обратно осуществляется на всей длине

гребенчатых упоров сплавным переходом из одной зоны в другую.

Сложный характер распределения нормальных напряжений по высоте деревобетонных (композитных) сечений 1–4 на рисунке 6 представлен эпюрами на рисунке 7.

В приопорной зоне, обозначенной сечением 1–1, где происходит включение железобетонной плиты в совместную работу с ДГБ, справа от сечения отмечается проявление в плите сжимающих напряжений с всплеском растягивающих в поясных брусках. Напряженное состояние сечения 2–2 подтверждает включение железобетонной плиты на сжатие с некоторым увеличением интенсивности и с равномерным распределением растягивающих напряжений по сечению деревянной конструкции. О классическом характере распределения напряжений между материалами композитной деревобетонной конструкции свидетельствуют эпюры нормальных напряжений в наиболее напряженных сечениях 3–3 и 4–4. При этом полученные максимальные растягивающие напряжения в деревянных элементах не превышают расчетных сопротивлений, в то время как напряжения сжатия в железобетонной плите в три раза меньше расчетных. Очевидно, что назначение в соответствии с требованиями СП 35.13330.2011 минимальной толщины железобетонной плиты в 18 см для деревобетонных пролетных строений сильно завышены и требуют корректировки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние двадцать лет в мире отмечается повышенный интерес к деревобетонным мостам. Наиболее заинтересованными в их применении стали Финляндия, Швейцария, Англия, Франция, Германия, в которых эти мосты ранее игнорировались.

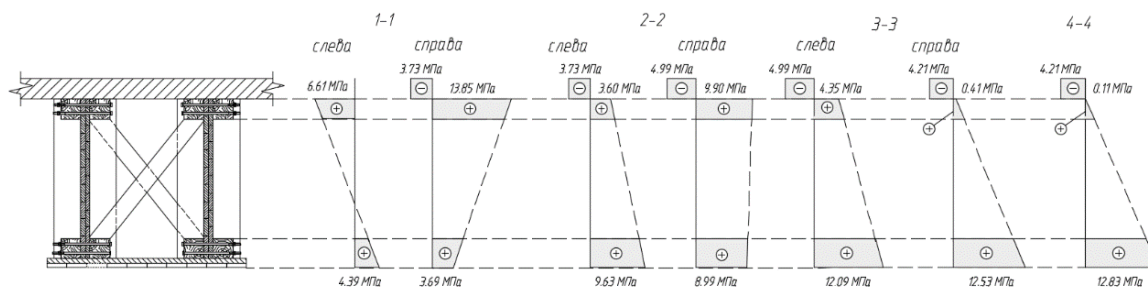


Рисунок 7 – Эпюры нормальных напряжений в композитном пролетном строении

Figure 7 – Graphic of normal stresses in a composite span

Основными достоинствами данных мостов являются высокие защитные свойства монолитной железобетонной плиты проезжей части на несущие деревянные конструкции от влаги и солнечной радиации, возросшая долговечность и грузоподъемность, конкурентоспособность по стоимости и экологичности в сравнении другими мостами.

В Омской области успешно внедрена и нашла применение на дорогах регионального значения новая конструкция пролетных строений из древесины под современные нагрузки на основе коробчатых дощато-гвоздевых блоков (ДГБ). Стоимость мостов с ДГБ в сравнении с равными пролетными строениями из железобетонных балок оказалась на 40–50% дешевле, возросла защищенность от атмосферных воздействий. Одним из недостатков этой конструкции является проезжая часть со сплошным накатом из брусьев и дорожным покрытием из дорожных железобетонных плит.

В работе рассмотрена конструкция композитного деревобетонного пролетного строения, составленного на основе дощато-брусчато-нагельно-гвоздевых блоков с совместно работающей монолитной железобетонной плитой проезжей части. В качестве соединительных элементов для совместной работы предложены специальные гребенчатые упоры.

Для исследования совместной работы плиты и несущих ДГБ использована разработанная ранее методика расчета составных прогонов из бревен. Результаты теоретического исследования показали возможность применения предлагаемой конструкции в капитальных мостах при современных нагрузках. При этом конструкция отличается от применяемых ранее железобетонных мостов снижением материалоемкости, повышенной защищенностью от атмосферных воздействий и долговечностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уткин В.А. Испытание дощато-гвоздевой конструкции моста / В.А. Уткин, В.И. Пузиков, Б.В. Казанцев, П.Н. Кобзев // Автомобильные дороги и мосты. 2002. №3. С.26–28.
2. Уткин В.А. Экспериментальное исследование модели дощато-гвоздевого коробчатого блока / В.А. Уткин, П.Н. Кобзев, В.И. Пузиков, Е.Л. Тараданов // Строительные материалы. 2005. №10. С.36–37.
3. Уткин В.А. Опыт внедрения новой конструкции дощато-гвоздевого пролетного строения в дорожном строительстве Омской области / В.А. Уткин, В.И. Пузиков, П.Н. Кобзев // Дороги и мосты. 2008. Вып. 19/1. С. 16–171.
4. Уткин В.А. О применении древесины для строительства мостов / В. А. Уткин, В.И. Пузиков, Б. В. Казанцев, М.Ю. Каретников // Дороги и мосты. 2014. Вып.32/2. С. 127–142.
5. Уткин В.А. Совершенствование дощато-гвоздевых пролетных строений мостов / В.А. Уткин, П.Н. Кобзев // Вестник СибАДИ. 2017. – Вып. 53(1). С. 115–121.
6. Гибшман Е.Е. Мосты со стальными балками, объединенными с железобетонной плитой. Москва, Дориздат, 1952.
7. Гибшман Е.Е. Проектирование стальных конструкций, объединенных с железобетоном, в автоторных мостах. Москва, Автотрансиздат, 1956.
8. Homberg H. Brücke mit elastischem Verbund zwischen den Stahlhauptträger und der Betonfahrbahntafeln. Der Bauingenieur, 1952, No. 6.
9. Kloppel K. Weichermüller H. Versuche mit Verbundträger. Der Stahlbau, 1954, H. 6.
10. Стрелецкий Н. Н. Сталежелезобетонные пролетные строения мостов : монография. Москва, Транспорт, 1981. 355 с.
11. Бычковский Н.Н. Проблемы проектирования, строительства, эксплуатации, реконструкции транспортных сооружений и пути их решения: монография в 3 ч. Ч. 2. Саратов: Саратовский гос. техн. ун-т, 2008. 820 с.
12. J. N. Rodrigues, A.M.P.G. Dias, P. Providencia. Timber-concrete composite bridges: State-of-the-Art-Review. «Review of TCC bridges», Bioresources. 2013. №8(4). Pp. 6630-6649.
13. Wiio M., Jutila A., Makipuro R., Salokangas L., Wistbära J. Research project development of wood bridges, literature survey of shear connections of wood-concrete composite bridges. Helsinki University of Technology, Laboratory of bridge Engineering, 1994, no.7, p. 14.
14. Linden, M.L.R. Timber-concrete composite beams. HERON, 1999. p.44.
15. J. N. Rodrigues, A.M.P.G. Dias, P. Providencia. Timber-concrete composite bridges- sustainability assessment, University of Coimbra, COST Action FP 1004 – Timber Bridges Conference 2014, p. 14.
16. Стуков В.П. Деревожелезобетонные балочные мосты: состояние, теория, исследования, проектирование: монография / М-во образования и науки Российской Федерации «Северный (Арктический) федеральный ун-т им. М.В. Ломоносова», 2014. 315 с.
17. Шумахер А.В. Экспериментальное исследование жесткости нагельных связей объединенных деревобетонных балок под действием многократно-повторной нагрузки // Сборник научных трудов. Омск, Западно-сибирское издательство. 1970. № 2. С.30–43.
18. Мельников Ю.О. Влияние податливости связей на прочность и жесткость деревобетонных мостовых балок. Сборник научных трудов №3. Теоретические и экспериментальные исследования мостов и сооружений. Теоретические и экспериментальные исследования мостов и сооружений. Омск, 1970. С. 49–59.

19. Ковтонюк В. А. Конструкция и выбор связей сдвига в объединенных деревобетонных и мостовых балках / В.А. Ковтонюк, Ю. О. Мельников // Теоретические и экспериментальные исследования мостов и сооружений. Сборник научных трудов №5. Омск. 1972. С. 79–89.

20. Кулиш В.И. Исследование работы и расчет на прочность деревожелезобетонных балок // Строительство железных дорог и эксплуатация пути. Хабаровск, ХаБПИИЖТ, 1967. С. 120–127.

21. Рожко П.П., Кулиш В.И. Исследование несущей способности стальных нагелей в деревобетонных мостах // Труды ХаБПИ. 1966. Вып. 3. С. 21–26.

22. Белуцкий И.Ю. Экспериментальное исследование гибридных клееных балок / И.Ю. Белуцкий, Ю.С. Глибовицкий, В.И. Кулиш // Сб. тр. ХаБПИ Общетеchnические науки, Хабаровск, 1972.

23. Белуцкий И.Ю. Об эффективности клееных армированных конструкций. Известия ВУЗов, раздел «Строительство и архитектура», 1972, №2.

24. Кулиш В.М. Клееные деревянные мосты с железобетонно плитой. Москва: Транспорт, 1979.

25. Кручинкин А.В., Платонов А.С., Решетников В.Г., Решетников И.В., Корнев С.Н., Кручинкин А.А. Сталежелезобетонные мосты: проблемы и перспективы развития // Вестник мостостроения №1, 2010.

26. Уткин В.А. Учет взаимодействия продольных сил и изгибающих моментов в расчетах составных прогонов бревен. / В.А. Уткин, П.Н.Кобзев, Е.Г. Шатунова // Вестник СибАДИ. Омск, том 18, №1, 2020.

REFERENCES

1. Utkin V.A., Puzikov V.I., Kazancev B.V., Kobzev P.N. Ispytanie doshato-gvozdevoj konstrukcii mosta [Testing the plank-nailed bridge structure]. Omsk, 2002. pp.26-28. (in Russian)

2. Utkin V.A., Kobzev P.N., Puzikov V.I., Taradantov E.L. Eksperimentalnoe issledovanie modeli doshato-gvozdevogo korobcha-togo bloka [Experimental study of a plank-nailed box model]. *Stroitelnye materialy*. 2005. pp.36-37. (in Russian)

3. Utkin V.A., Puzikov V.I., Kobzev P.N. Opyt vnedreniya novoj konstrukcii doshato-gvozdevogo proletnogo stroeniya v dorozhnom stroitelstve Omskoj oblasti [Experience in introducing a new design of a plank-nailed span in the road construction of the Omsk region]. *Dorogi i mosty*. Moscow, 2008; 19/1 : pp. 162-171. (in Russian)

4. Utkin V.A., Puzikov V.I., Kazancev B.V., Karetnikov M.Yu. O primeneni drevesiny dlya stroitelstva mostov [About the use of wood for bridges construction]. *Dorogi i mosty*. Moscow, Rosdormii, 2014; 32/2 : pp. 127-142. (in Russian)

5. Utkin V.A., Kobzev P.N. Sovershenstvovanie doshato-gvozdevykh proletnykh stroenij mostov [Improving the plank-nailed bridges spans]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017; 53(1) : pp. 115-121. (in Russian)

6. Gibshman E.E. Mosty so stalnymi balkami, obedinennymi s zhelezobetonnoj plitoy [Bridges with steel beams combined with a reinforced concrete slab]. Moscow, Dorizdat, 1952.

7. Gibshman E.E. Proektirovanie stalnykh konstrukcij, obedinennykh s zhelezobetonom, v avtodorozhnykh mostakh [Design of steel structures combined with reinforced concrete in road bridges]. Moscow, Avtotransizdat, 1956. (in Russian)

8. Homberg H. Brucke mit elastischem Verbund zwischen den Stahlhaupttrager und der Betonfahrbahntafeln. Der Bauingenier, 1952; 6.

9. Kloppel K. Weichermuller H. Versuche mit Verbundtrager. Der Stahlbau, 1954; 6.

10. Streleckij N. N. *Stalezhelezobetonnye proletnye stroeniya mostov* [Steel-reinforced concrete bridge spans]. Moscow, Transport, 1981. 355. (in Russian)

11. Bychkovskij N.N. *Problemy proektirovaniya, stroitelstva, ekspluatatsii, rekonstrukcii transportnykh sooruzhenij i puti ih resheniya* [Problems of design, construction, operation, reconstruction of transport facilities and ways to solve them]. Saratov, Saratovskij gos. tehn. un-t. 2008; 3 (20): 820. (in Russian)

12. Rodrigues J. N., Dias A.M.P.G., Providencia P., (2013). Timber-concrete composite bridges: State-of-the-Art-Review. «Review of TC bridges», *Bioresources* 8(4),6630-6649.

13. Wiio M., Jutila A., Makipuro R., Salokangas L., Wistbara J. Research project development of wood bridges, literature survey of shear connections of wood-concret composite bridges. Helsinki University of Technology, Laboratory of bridge Engineering, 1994; 7, p. 14.

14. Linden, M.L.R. Timber-concrete composite beams. *HERON*, 1999, p.44.

15. J. N. Rodrigues, A.M.P.G. Dias, P. Providencia. Timber-concrete composite bridges- sustainability assessment, University of Coimbra, COST Action FP 1004 – Timber Bridges Conference 2014, p. 14.

16. Stukov V.P. *Derevozhelezobetonnye balochnye mosty: sostoyanie, teoriya, issledovaniya, proektirovanie* [Wood-reinforced concrete girder bridges: state, theory, research, design]. M-vo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii «Severnyj (Arkticheskij) federalnyj un-t im. M.V. Lomonosova, 2014. p. 315. (in Russian)

17. Shumacher A.V. Eksperimentalnoe issledovanie zhestkosti nagelnykh svyazey obedinennykh derevobetonnykh balok pod dejstviem mnogokratno-povtornoj nagruzki. [An experimental study of the stiffness of the nail bonds of the united wood-concrete beams under the action of multiple-repeated loading]. *Sbornik nauchnykh trudov*. Omsk, Zapadno-sibirskoe izdatel-stvo. 1970; 2 : pp.30-43. (in Russian)

18. Melnikov Yu.O. Vliyanie podatlivosti svyazej na prochnost i zhestkost derevobetonnykh mostovykh balok [The effect of ductility of bonds on the strength and stiffness of wood-concrete bridge beams]. *Sbornik nauchnykh trudov №3*. Omsk, 1970. pp. 49-59. (in Russian)

19. Kovtonyuk V.A., Melnikov Yu.O. Konstrukciya i vybor svyazey sдвига v obedinennykh derevobetonnykh i mostovykh balkah [Design and selection of shear bonds in combined wood and bridge beams]. *Teoreticheskie i eksperimentalnye issledovaniya mostov i sooruzhenij*. Omsk, 1972. pp. 79-89. (in Russian)

20. Kulish V.I. Issledovanie raboty i raschet na prochnost derevozhelezobetonnykh balok [Study of work and strength analysis of wood-reinforced concrete beams]. *Stroitelstvo zheleznykh dorog i ekspluatatsiya puti*. Habarovsk, Na-bllZhT, 1967, pp. 120–127. (in Russian)

21. Rozhko P.P., Kulish V.I. Issledovanie nesushej sposobnosti stalnykh nagelej v derevobetonnykh mostah [The study of the bearing capacity of steel dowels in concrete bridges]. *Trudy HabPI*. 1966; 3 : pp. 21–26. (in Russian)

22. Beluckij I.Yu., Glibovickij Yu.S., Kulish V.I. Eksperimentalnoe issledovanie gibridnykh kleenyykh balok [Experimental study of hybrid glued beams]. *Sb. tr. HabPI Obshetekhnicheskie nauki*. Habarovsk, 1972. (in Russian)

23. Beluckij I.Yu. Ob effektivnosti kleenyykh armirovannykh konstrukcij [On the effectiveness of glued reinforced structures]. *Izvestiya VUZov*. 1972; 2. (in Russian)

24. Kulish V.M. Kleenyye derevyannyye mosty s zhelezobetonno plitoj [Glued wooden bridges with reinforced concrete slab]. Moscow, Transport, 1979. (in Russian)

25. Kruchinkin A.V., Platonov A.S., Reshetnikov V.G., Reshetnikov I.V., Kornev S.N., Kruchinkin A.A. Stalezhelezobetonnyye mosty: problemy i perspektivy razvitiya [Steel-reinforced concrete bridges: problems and development prospects] *Vestnik mostostroeniya*. 2010; 1. (in Russian)

26. Utkin V.A., Kobzev P.N., Shatunova E.G. Uchet vzaimodeystviya prodolnykh sil i izgibayushih momentov v rasche-tah sostavnykh progonov breven [Accounting for the interaction of longitudinal forces and bending moments in the calculations of composite log run]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 18. (in Russian)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Уткин В.А. Формулирование цели, метод исследования, алгоритм расчета.

Готовцев И.И. Расчет комбинированного пролетного строения. Оформление статьи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Vladimir A. Utkin. Purpose formulation, research method, calculation algorithm

Ivan I. Gotovtsev. Composite span calculation, article layout.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Уткин Владимир Александрович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Мосты и тоннели» ФГБОУ ВО «СибАДИ», ORCID 0000-0002-2044-3242 (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: prof.utkin@mail.ru).

Готовцев Иван Иванович – магистрант, ИМА, СМ-18МА8 ФГБОУ ВО «СибАДИ», ORCID 0000-0001-6402-3664 (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: mohutop_kjiabuatypobu4@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir A. Utkin – Dr. of Sci., Professor of the Bridges and Tunnels Department, FSBEI HE Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), ORCID ID 0000-0002-2044-3242 (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: prof.utkin@mail.ru).

Ivan I. Gotovtsev – Master Candidate, Graduate Institution, group SM-18MA8, FSBEI HE Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), ORCID ID 0000-0001-6402-3664 (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: mohutop_kjiabuatypobu4@mail.ru).

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ, ПРЕДСТАВЛЯЕМОЙ В РЕДАКЦИЮ ЖУРНАЛА

Для публикации принимаются рукописи по направлениям: Транспорт. Транспортные и технологические машины; Строительство. Строительные материалы и изделия; Редакция принимает к рассмотрению **оригинальные научные статьи** объемом 8–10 стр. машинописного текста через 1 интервал, 5–8 рисунков и (или) таблиц, 20–40 ссылок; **обзорные статьи** – (критическое обобщение какой-то исследовательской темы) – от 10 и более страниц, от 5 и более рисунков, до 80 ссылок.

Статья должна быть неопубликованной ранее в других изданиях, написана в контексте современной литературы, обладать новизной и соответствовать профилю журнала. Автор отвечает за достоверность сведений, точность цитирования и ссылок на официальные документы и другие источники. Редакция принимает на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи, сотрудниками редакции, членами редколлегии, а также рецензентами данной работы. В случае обнаружения одновременной подачи рукописи в несколько изданий статья будет **ретрагирована** (отозвана из печати).

Следует уделить особенное внимание качеству перевода. Недопустимо при переводе пользоваться машинами-переводчиками. Перевод должен быть выполнен профессиональными переводчиками, а лучше – носителем английского языка. Необходимо учесть, что законодательство охраняет права переводчиков авторским правом наравне с правами авторов оригинальных произведений. Перевод текста – творческий процесс, производный объект авторского права, т.е. переводчик – соавтор нового произведения.

1 УДК. На первой странице, слева в верхнем углу без отступа, указываются индекс по универсальной десятичной классификации (УДК) (размер шрифта 10 пт).

2. Заглавие статьи. Заголовок (максимально 10-12 слов) должен быть информативным, лаконичным, соответствовать научному стилю текста, содержать основные ключевые слова, характеризующие тему (предмет) исследования и содержание работы. Приводится на русском и английском языках, по центру полужирным шрифтом размером 12 пт. прописными буквами.

3. Фамилии авторов. Количество авторов не должно превышать четырех. Для англоязычных метаданных важно соблюдать вариант написания сведений об авторе в последовательности: полное имя, инициал отчества, фамилия (Anna V. Ivanova). При латинизации фамилии можно воспользоваться системой 1 BSI – Британский Институт Стандартов (British Standards Institution) транслитерации на сайте <http://translit.ru>, при этом необходимо выбрать вариант стандарта, например, BSI. Перечень авторов располагается после заголовка статьи обычным шрифтом (размер шрифта 12 пт.).

4. Аннотация. Аннотация включает характеристику основной темы, проблемы объекта, цели исследования, основные методы, результаты исследования и главные выводы. В аннотации необходимо указать, что нового несет в себе научная статья в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению, объем от 200 до 250 слов. Структура аннотации представлена на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Приводится на русском и английском языках. Начинается словом «Аннотация» с прописной буквы (шрифт полужирный, курсив, 10 пт); точка; затем с прописной буквы текст (курсив, 10 пт).

5. Ключевые слова служат ориентиром для читателя и используются для поиска статей в электронных базах, поэтому должны отражать дисциплину (область науки, в рамках которой написана статья), тему, цель и объект исследования.

Рекомендуемое количество ключевых слов – 10–12, количество слов внутри ключевой фразы – не более трех.

Размещаются после аннотации, на русском и английском языках.

6. Благодарности. Раздел включен в требования всеми крупными издательствами. В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам.

7. Основные положения. Отражают ключевые результаты исследования, основное содержание статьи, изложенные тезисно и оформленные в виде 3–5 пунктов маркированного списка.

8. Основной текст статьи излагается на русском или английском языках, в электронном и бумажном виде (шрифт «Arial» (10 пт), отступ первой строки 0,6 см, межстрочный интервал одинарный), в следующей последовательности:

Введение (1–4 стр.) В этом разделе описываются общая тема исследования, цели и задачи планируемой работы, теоретическая и практическая значимость, приводятся наиболее известные и авторитетные публикации по изучаемой теме, обозначаются нерешенные проблемы. Данный раздел должен содержать обоснование необходимости и актуальности исследования. Информация во Введении должна быть организована по принципу «от общего к частному».

Подразделы введения представлены на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Методы и материалы (от 2 стр. и более) В этом разделе в деталях описываются методы, которые использовались для получения результатов. Обычно сначала дается общая схема экспериментов/исследования, затем они представляются настолько подробно и с таким количеством деталей, чтобы любой компетентный специалист мог воспроизвести их, пользуясь лишь текстом статьи. Более подробно содержание раздела представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Результаты. В этом разделе представлены экспериментальные или теоретические данные, полученные в ходе исследования. Результаты даются в обработанном варианте: в виде таблиц, графиков, организационных или структурных диаграмм, уравнений, фотографий, рисунков. В этом разделе приводятся только факты. Если было получено много похожих зависимостей, представляемых в виде графиков, то приведите только один типичный график, а данные об имеющихся количественных отличиях между ними, представьте в таблице.

Способы представления результатов 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 подписью, и отдельными файлами с расширением (JPEG, GIF, BMP). Должны быть пронумерованы (Таблица 1 – Заголовок, Рисунок 1 – Наименование), озаглавлены (таблицы должны иметь заглавие, выравнивание по левому краю, а иллюстрации – подписи, выравнивание по центру). В основном тексте должны содержаться ссылки на них (на рисунке 1.....).

Рисунки и фотографии должны быть ясными и четкими, с хорошо проработанными деталями с учетом последующего уменьшения. При представлении цветных рисунков автор должен предварительно проверить их качество при использовании черно-белой печати. Отсканированные версии рисунков, схем, таблиц и формул не допускаются.

Таблицы предоставляются в редакторе Word.

Все названия, подписи и структурные элементы графиков, таблиц, схем и т. д. оформляются на русском и английском языках.

Общий порядок опубликования

Рукописи статей, подготовленные в соответствии с правилами оформления научно-исследовательской публикации и принятыми редакцией журнала международными стандартами, в электронном (через официальный сайт журнала) и бумажном виде предоставляются в редакцию журнала в комплекте:

- с экспертным заключением о возможности опубликования в открытой печати;
- лицензионным договором между ФГБОУ ВО «СибАДИ» и авторами;

При регистрации присваивается дата поступления и регистрационный номер статьи. Статьи регистрируются через электронную редакцию. Регистрация осуществляется бесплатно.

Первичная экспертиза на соответствие требованиям и профилю журнала (модерация). Зарегистрированные рукописи статей проходят первичную экспертизу на соответствие требованиям и профилю журнала. Началом для экспертизы рукописи статьи редакцией является дата регистрации статьи. Редакция журнала оставляет за собой право отбора присылаемых материалов. Только прошедшие первичную экспертизу рукописи статей, полностью соответствующие требованиям редакции журнала, соответствующие профилю журнала, получают статус «Принята к рассмотрению». Для них отдельно регистрируется дата приема рукописи статьи к рассмотрению.

Рецензирование. Принятые к рассмотрению рукописи статей направляются на слепое рецензирование для оценки их научного содержания нескольким специалистам соответствующего профиля, членам редакционной коллегии и/или редакционного совета. Экспертиза и рецензирование осуществляются бесплатно.

Решение о принятии к публикации основывается на поступивших рекомендациях рецензентов журнала. Если принято решение «рекомендовать с учетом исправления отмеченных недостатков», то автору направляются рекомендации и вопросы для исправления. Рукопись статьи, скорректированная автором, повторно направляется на рецензирование. Рукописи статей, не рекомендованные к публикации, повторно не рассматриваются. Автору рукописи направляется мотивированный отказ в публикации.

Редакционная подготовка. Рукописи статей, принятые к публикации, проходят редакционную подготовку к публикации – литературное редактирование и сверку данных, корректуру, форматирование, макетирование. Общий срок редакционной подготовки статьи, успешно прошедшей рецензирование, составляет 2 месяца в соответствии с периодичностью и графиком публикации выпусков. Корректур статей авторам не высылаются, тем не менее вопросы, возникающие в процессе редактирования высылаются авторам для согласования.

Окончательный вариант макета статьи высылается по электронной почте автору на утверждение. На рассмотрение отводится три дня, по истечении которых в случае неполучения ответа от автора, макет автоматически считается автором одобренным и в представленном виде направляется в печать.

Публикация. Подготовленный к публикации макет тиражируется в типографии СибАДИ и размещается на сайте журнала в открытом бесплатном доступе. Публикация всех статей одного выпуска осуществляется единой датой.

Метаданные опубликованных статей выпуска регистрируются в РИНЦ, размещаются в библиографических сервисах и базах данных в сроки, установленные соответствующими договорами, распространяются по подписке.