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

научный рецензируемый журнал

•ВЕСТНИК СИБАДИ•

The Russian Automobile and Highway Industry Journal

"Vestnik SibADI"

Том 19, № 3. 2022
Vol. 19, No. 3. 2022

наука
science

creation
творчество

образование
education

innovations
инновации

technology
технологии

tradition
традиции

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

ВЕСТНИК СИБАДИ

THE RUSSIAN AUTOMOBILE AND HIGHWAY INDUSTRY JOURNAL

DOI: 10.26518/2071-7296-2022-19-2

ТОМ 19, № 3. 2022 **VOL. 19, No. 3. 2022**

Сквозной номер выпуска – 85 **Continuous issue – 85**

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

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

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

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

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

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

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

Published since 2004
by 6 issues per year

Subscription index is 66000
in the Ural-Press catalog

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

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», 2022

Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ» предназначен для информирования научной общественности о результатах научных исследований актуальных в международном сообществе проблем, имеющих теоретическую и практическую значимость. Страницы нашего издания открыты для всех авторов, которые серьёзно 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),
2.9.4. – Управление процессами перевозок (технические науки),
2.9.5. – Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки),
2.1.1. – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки),
2.1.5. – Строительные материалы и изделия (технические науки),
2.1.7. – Технология и организация строительства (технические науки),
2.1.8. – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки).

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), регистрационный номер СМИ ПИ № ФС 77-73591 от 31.08. 2018 г. Входит в перечень ведущих периодических изданий, рекомендованных ВАК решением президиума ВАК от 25.02.2011 г.; в соответствии с распоряжением Минобрнауки России от 28 декабря 2018 г. № 90 – р включен в новый перечень. С 2017 г. всем номерам и статьям журнала присваиваются идентификаторы цифровых объектов (DOI). Редакция осуществляет рецензирование (двухстороннее «слепое») всех поступающих в редакцию материалов с целью взыскательной экспертной оценки, а также проверку статей на плагиат.
Этот журнал предоставляет непосредственный открытый доступ к своему контенту исходя из следующего принципа: свободный открытый доступ к результатам исследований способствует увеличению глобального обмена знаниями. Политика открытого доступа соответствует определению Будапештской инициативы открытого доступа (BOAI) и означает, что статьи доступны в открытом доступе в сети Интернет, что позволяет всем пользователям читать, загружать, копировать, распространять, распечатывать, искать или ссылаться на полные тексты этих статей, сканировать их для индексации, передавать в качестве данных для программного обеспечения или использовать их для любых других законных целей без финансовых, юридических или технических барьеров, за исключением тех, которые неотделимы от получения доступа к самому Интернету. Для получения дополнительной информации обратитесь к Будапештской декларации (https://www. budapestopenaccessinitiative.org/).

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

Журнал является членом:
Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ);
CrossRef

Материалы журнала доступны по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License

Подписано в печать 10.06.2022. Дата выхода в свет 24.06.2022. Формат 60×84 ⅛ 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.

Исключительное право на оригинал-макет и оформление принадлежит учредителю журнала, право авторства на статьи – авторам.
© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», 2022

"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),
2.9.4. – Management of the transportation process (Technical Sciences),
2.9.5. – Operation of automobile transport (Technical Sciences),
2.1.1. – Building structures, buildings and facilities (Technical Sciences),
2.1.5. – Building materials and products (Technical Sciences),
2.1.7. – Technology and organization of construction (Technical Sciences),
2.1.8. – Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels (Technical Sciences).

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

This journal provides direct open access to its content based on the following principle: free open access to research results enhances global knowledge sharing.
The Open Access Policy meets the definition of the Budapest Open Access Initiative (BOAI) and means that articles are available for public access on the Internet, allowing all users to read, download, copy, distribute, print, search or link to the full text of these articles, scan them for indexing, transmit them as data for software or use them for any other lawful purpose without financial, legal or technical barriers, except those that are inseparable from access to the Internet itself. For more information please refer to the Budapest Declaration (https://www. budapestopenaccessinitiative.org/).

The journal is indexed and archived:
in Russian Index of Scientific Citations;
Dimensions;
EBSCO;
Ulrichsweb Global Serials Directory;
Google scholar
The European Library;
SOCIONET;
VINITI RAS;
Cyberlenika;
DOAJ SEAL

The Journal is a member of
the Association of Scientific Editors and Publishers (ASEP);
CrossRef

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

Signed in print on 12.06.2022. Publication date is 24.06.2022. Format is 60 × 84 ⅛.
Headset is Arial, operational printing, offset paper, 27,25 conditionally printed sheets, 500 copies. Free of charge. Printed at the Printing and Publishing Complex of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia
Content is available under license CC BY.
Received materials are not returned. Fees are not paid. All articles are published free of charge.

The sole right to the original layout and design belongs to the founder of the journal, the right of authorship to the articles belongs to the authors.
© Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", 2022

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 0000-0001-8945-1542

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

Транспорт

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

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

Строительство и архитектура

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,
ORCID 0000-0003-2254-8803

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 0000-0002-0292-4421

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Макеев Сергей Александрович, д-р техн. проф. наук Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск, Россия
Scopus Author ID 57200729552, **Researcher ID** AAU-8361-2020, **ORCID** 0000-0002-2915-982X

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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
Scopus Author ID 57216812633, **Author ID в РИНЦ** 595504

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

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

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

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

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

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

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

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

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

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

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

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

Liudmila S. Trofimova, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia
Scopus Author ID 57212171087, **ORCID ID** 0000-0001-7312-1557

Construction and architecture

Viktor V. Sirotyuk, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia
Scopus Author ID 6602369365, **Researcher ID** B-7877-2019, **ORCID** 0000-0003-2254-8803

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** 0000-0002-0292-4421

Vitaliy S. Borovik, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Volgograd Science and Technology Center, Volgograd, Russia
Scopus Author ID 57192819653, **SPIN-код** 3552-6019, **ORCID ID** 0000-0002-2409-4078

Yuriy L. Vinnikov, Dr. of Sci. (Engineering), Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk, Poltava, Ukraine
Scopus Author ID 6603741286, **Researcher ID** P-7880-2015, **ORCID ID** 0000-0003-2164-9936

Gleb L. Gorynin, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), Professor of the «SurGUKMAO-Yugra», Surgut, Russia
Scopus Author ID 10040194400, **Researcher ID** AAM-4262-2021, **ORCID ID** 0000-0001-7843-7278

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

Boris B. Danilov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Mining and Construction Geotechnics, Mining Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
Scopus Author ID 7003684882, **Researcher ID** E-2362-2014, **ORCID ID** 0000-0002-6685-9606

Vladimir N. Efimenko, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia
Scopus Author ID 56487473100

Askar Zh. Zhusupbekov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Corresponding Member of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, ENU named after L.N. Gumilev, Astana, Kazakhstan
Scopus Author ID 6507768437, **Researcher ID** E-4049-2015, **ORCID ID** 0000-0001-6154-1263

Vladimir V. Zyryanov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Don State Technical University, Rostov on Don
Scopus Author ID 26424901100, **Researcher ID** A-5063-2014, **ORCID ID** 0000-0002-5567-5457

Sergey V. Kondakov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of South Ural State University (national research university), Chelyabinsk, Russia
Scopus Author ID 56556574700, **Researcher ID** M-5466-2018, **ORCID** 0000-0001-6818-1694

Natalia O. Kopanitsa, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia
Scopus Author ID 6506597418, **Researcher ID** A-8158-2016, **ORCID ID** 0000-0002-0991-8550

Sergey V. Korneev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Omsk State Technical University, Omsk, Russia
Scopus Author ID 7006776195, **Researcher ID** V-8864-2018

Dmitriy N. Korotaev, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University, Moscow, Russia.
Scopus Author ID 6506823308, **Researcher ID** T-5750-2017, **ORCID ID** 0000-0002-5957-4135

Mark E. Koryagin, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russia
Scopus Author ID 12794946600, **Researcher ID** M-1500-2013, **ORCID ID** 0000-0002-1976-7418

Valeriy M. Kurganov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Tver State University, Tver, Russia
Scopus Author ID 57196729393, **Researcher ID** A-6227-2017, **ORCID** 0000-0001-8494-2852

Sergey N. Leonovich, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus
Scopus Author ID 55887733300, **Researcher ID** A-4757-2016, **ORCID ID** 0000-0002-4026-820X

Valeriy S. Lesovik, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Corresponding Member of RAASN, BSTU named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
Scopus Author ID 55887733300, **Researcher ID** A-4757-2016 **ORCID ID** 0000-0002-2378-3947

Sergey A. Makeev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia
ORCID 0000-0002-2915-982X, **Scopus Author ID** 57200729552, **Researcher ID** AAU-8361-2020

Sergey A. Matveev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)", Omsk, Russia
Scopus Author ID 56297305000, **Researcher ID** Y-3137-2018, **ORCID ID** 0000-0002-7836-2242

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Sergey V. 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** 0000-0002-4034-2457, **Researcher ID** A-4081-2019

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

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

Irina P. Troyanovskaya, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of South Ural State University (national research university), Chelyabinsk, Russia
Scopus ID 57170706600, **Researcher ID** H-7490-2017, **ORCID** 0000-0003-2763-0515

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

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

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

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

Scopus Author ID 57216812633, **Author ID** в РИНЦ 595504

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

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

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

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

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

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

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

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

РАЗДЕЛ I. ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. Н. Артеменко, П. А. Корчагин, И. А. Тетерина
РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОВОРОТА ДОРОЖНОГО КАТКА 320

В. А. Николаев
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ГРУНТОМ НОЖА И НИЖНЕЙ ЧАСТИ ОТВАЛА БУЛЬДОЗЕРА В НАЧАЛЕ ПРОХОДА 330

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

С. А. Аземша, В. М. Морозов
РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО АНКЕТИРОВАНИЮ ПАССАЖИРОВ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА РЕГУЛЯРНОГО СООБЩЕНИЯ 344

Е. Е. Витвицкий, Н. И. Юрьева, Г. О. Тажигулова, С. Г. Курымбаев, П. У. Байгожина
ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕВОЗОК АВТОМОБИЛЯМИ ОГРАНИЧЕННЫХ ОТПРАВОК УГЛЯ В ГОРОДЕ 358

А. И. Фадеев, С. Алхуссейни
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ ПАССАЖИРОВ ОБЩЕСТВЕННЫМ ТРАНСПОРТОМ ИЗ ОПЕРАЦИЙ ВАЛИДАЦИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОЕЗДНЫХ БИЛЕТОВ 370

Н. Н. Якунин, Н. В. Якунина, О. Ю. Фролов, И. Х. Хасанов
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ СПЕЦИАЛИСТОВ С АВТОТРАНСПОРТНЫМ ОБРАЗОВАНИЕМ В РЕГИОНЕ 398

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Д. С. Горкольцева, Н. О. Копаница
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ И ТОРФОВЕРМИКУЛИТОВЫХ ГРАНУЛ 412

А. А. Лыткин
ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА МОНОЛИТНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ВОЗДУХА 422

Ю. В. Пухаренко, Д. А. Пантелеев, М. И. Жаворонков
ВЛИЯНИЕ ВИДА ФИБРЫ И СОСТАВА МАТРИЦЫ НА ИХ СЦЕПЛЕНИЕ В ФИБРОБЕТОНЕ 436

А. В. Селиванов, Ф. Ф. Регер, И. А. Чакурин
О ВЛИЯНИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ (НДС) ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ-ОБОЛОЧКИ ПЕРЕКРЫТИЯ 446

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

CONTENTS

PART I. TRANSPORT, MINING AND MECHANICAL ENGINEERING

Maxim N. Artemenko, Pavel A. Korchagin, Irina A. Teterina
THEORETICAL STUDIES RESULTS FOR A MATHEMATICAL MODEL OF A ROAD ROLLER TURN **321**

Vladimir A. Nikolayev
KNIFE AND BULLDOZER BOTTOM BLADE INTERACTION WITH SOIL AT THE BEGINNING OF A PASS **331**

PART II. TRANSPORT

Sergei A. Azemsha, Vitalii M. Morozov
DEVELOPMENT OF PROPOSALS ON PASSENGER QUESTIONNAIRES FOR REGULAR URBAN PASSENGER TRANSPORT **345**

Evgeny E. Vitvitsky, Natalya I. Yurieva, Gulmira O. Tazhigulova, Sayat G. Kurymbaev, Perizal U. Baigozhina
JUSTIFICATION FOR AUTOMOBILE TRANSPORTATION TECHNOLOGY OF LIMITED COAL SHIPMENTS IN THE CITY **359**

Aleksandr I. Fadeev, Sami Alhusseini
METHODOLOGY FOR DETERMINING PASSENGERS CORRESPONDENCE BY PUBLIC TRANSPORT FROM ELECTRONIC TICKETS VALIDATION OPERATIONS **371**

Nikolai N. Yakunin, Natalia V. Yakunina, Oleg Yu. Frolov, Ilgiz Kh. Khasanov
DETERMINATION METHOD FOR STRUCTURING SPECIALISTS SKILLED IN MOTOR TRANSPORT IN THE REGION **399**

PART III. CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

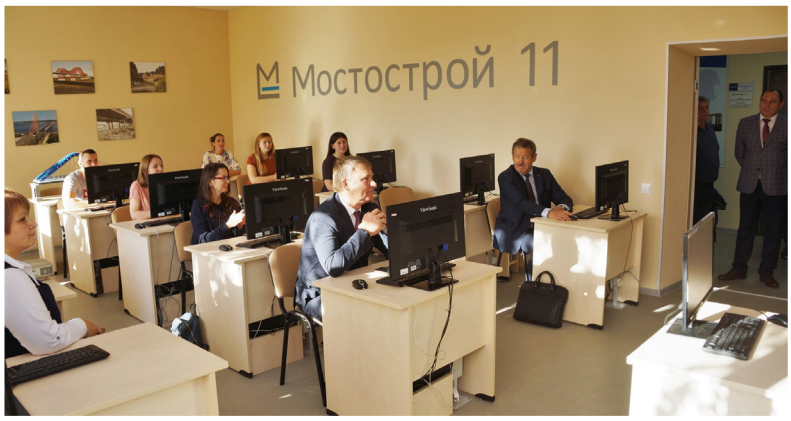
Dinara S. Gorkoltseva, Natalia O. Kopanitsa
PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE BASED ON GYPSUM BINDERS AND PEAT VERMICULITE GRANULES **413**

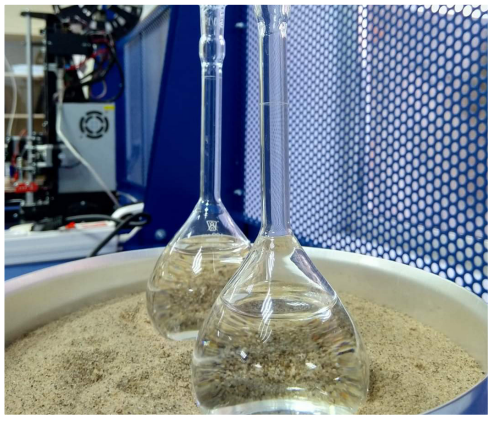
A. A. Lytkin
EXPERIENCE IN CONSTRUCTION OF MONOLITHIC ROAD PAVEMENTS AT SUB-ZERO AIR TEMPERATURES **423**

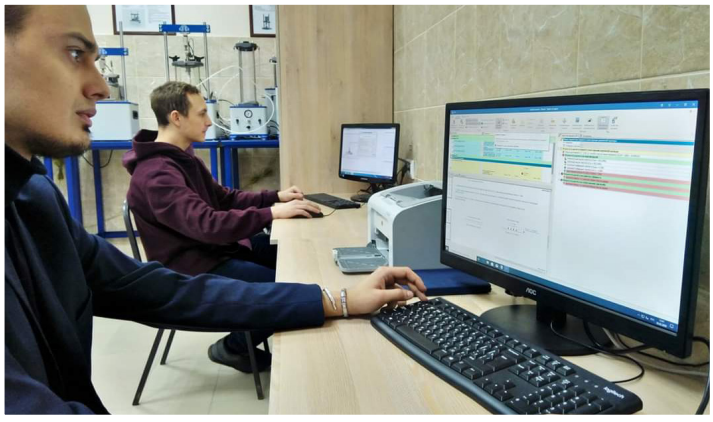
Yury V. Pukharenko, Dmitrii A. Panteleev, Mikhail I. Zhavoronkov
INFLUENCE OF FIBER TYPE AND MATRIX COMPOSITION ON ADHESIVE STRENGTH IN FIBER REINFORCED CONCRETE **437**

Anton V. Selivanov, Fedor F. Reger, Ivan A. Chakurin
ON INFLUENCE OF STRUCTURAL FEATURES ON STRESS-STRAIN STATE (SSS) OF A REINFORCED CONCRETE FLOOR SLAB **447**

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal


Мостострой 11





СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИБАДИ
65-98-81
65-99-88

РАЗДЕЛ I.
ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

PART I.
TRANSPORT, MINING AND MECHANICAL ENGINEERING

УДК 621.879
DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-320-329
EDN: OQYCTB
Научная статья

Check for updates

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОВОРОТА ДОРОЖНОГО КАТКА

М. Н. Артеменко[1], П. А. Корчагин[2], И. А. Тетерина[*2]
[1]Сотое военное представительство, г. Омск, Россия
[2]Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск, Россия
suhov1425@mail.ru, http://orcid.org/0000-0003-0596-3888,
korchagin_pa@mail.ru, http://orcid.org/0000-001-8936-5679,
iateterina@mail.ru, http://orcid.org/0000-0001-8012-8511
[*]ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. *В основе создания и совершенствования роботизированных строительно-дорожных машин и комплексов лежат методы математического моделирования, использование которых правомерно как при разработке самих машин, так и математических моделей, описывающих процессы поворота и определяющих движение машины по заданной траектории.*
Методы исследования. *В статье представлена обобщенная расчетная схема поворота дорожного трехосного катка, отражающего его основные геометрические и кинематические характеристики. На основе расчетной схемы составлена математическая модель поворота катка. В результате разработанной математической модели в программном продукте MATLAB построен программный код, который лег в основу теоретических исследований, позволивших в полной мере изучить влияние конструктивных и эксплуатационных параметров машины на траекторию движения и точность позиционирования.*
Результаты. *Получены расчетные зависимости, позволяющие определить влияние таких параметров, как скорость движения дорожного катка, угловая скорость поворота вальца на дистанцию перестроения на параллельный курс и на величину смещения поворотного вальца, то есть на траекторию движения и точность позиционирования строительно-дорожной машины.*
Обсуждение и заключение. *На основе расчетной схемы составлена математическая модель поворота катка, в результате которой проведены исследования, направленные на изучение влияния конструктивных и эксплуатационных параметров машины на траекторию движения дорожного катка и точность его позиционирования на строительной площадке при выполнении технологических операций.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *дорожный каток, дорога, управление курсом, навигация, беспилотный автомобиль, модель поворота.*

Статья поступила в редакцию 04.03.2022; одобрена после рецензирования 22.03.2022; принята к публикации 10.06.2022.
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: Артеменко М. Н. Результаты теоретических исследований математической модели поворота дорожного катка / М. Н. Артеменко, П. А. Корчагин, И. А. Тетерина // *Вестник СибАДИ.* 2022. Т.19, № 3(85). С. 320-329. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-320-329

© Артеменко М. Н., Корчагин П. А., Тетерина И. А., 2022

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-320-329
EDN: OQYCTB
Original article

THEORETICAL STUDIES RESULTS FOR A MATHEMATICAL MODEL OF A ROAD ROLLER TURN

Maxim N. Artemenko[1], Pavel A. Korchagin[2], Irina A. Teterina*[2]
[1]100th Military Representation, Omsk, Russia
[2]Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia
suhov1425@mail.ru, http://orcid.org/0000-0003-0596-3888,
korchagin_pa@mail.ru, http://orcid.org/0000-001-8936-5679,
iateterina@mail.ru, http://orcid.org/0000-0001-8012-8511
**corresponding author*

ABSTRACT

Introduction. *At the heart of the creation and improvement of robotic road construction machines and complexes are mathematical modelling methods, the use of which is justified both in the development of the machines themselves and mathematical models that describe the turning processes and determine the movement of the machine along a given trajectory.*
The method of research. *The article presents a generalized design scheme for the rotation of a three-axle road roller, which reflects its main geometric and kinematic characteristics. On the basis of the design scheme, a mathematical model of the rotation of the skating rink was compiled. As a result of the developed mathematical model, a program code was built in the MATLAB software product, which formed the basis of theoretical studies that made it possible to fully study the influence of the design and operational parameters of the machine on the motion trajectory and positioning accuracy.*
Results. *The calculated dependencies have been obtained to determine the influence of such parameters as the speed of the road roller, the angular speed of the drum rotation on the distance of rebuilding on a parallel course and on the displacement of the rotary drum, that is, on the trajectory and positioning accuracy of the road-building machine.*
Conclusion. *On the basis of the design scheme, a mathematical model of the rotation of the roller was compiled, as a result of which studies were carried out aimed at studying the influence of the design and operational parameters of the machine on the trajectory of the road roller and the accuracy of its positioning on the construction site when performing technological operations.*

KEYWORDS: *road roller, road, course management, navigation, unmanned vehicle, turn model.*

The article was submitted 04.03.2022; approved after reviewing 22.03.2022; accepted for publication 10.06.2022.
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: Artemenko M. N., Korchagin P. A., Teterina I. A. Theoretical studies results for a mathematical model of a road roller turn. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2022; 19 (3): 320-329. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-320-329

© Artemenko M. N., Korchagin P. A., Teterina I. A., 2022

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

ВВЕДЕНИЕ

Модернизация производства, как и внедрение новых технологий в производственные процессы, подразумевает их массовую роботизацию. Экономическая эффективность этого процесса давно подтверждена опытом ведущих промышленно развитых стран, таких как Южная Корея, США, Япония, Великобритания [1].

Одним из направлений роботизации дорожного строительства является создание роботизированных строительно-дорожных машин. В качестве положительных моментов в работе предусматривается увеличение производительности, повышение качества работ и снижение эксплуатационных расходов.

К работам по строительству дорожного полотна, как и к качеству их выполнения, предъявляются высокие требования. Причем все виды рабочих операций, выполняемых строительно-дорожной техникой, жестко обусловлены технологиями строительства дорожных оснований и закреплены в нормативно-технической документации. Как правило, эти требования сводятся к выполнению и повторению типовых прямолинейных и (или) криволинейных движений, проходов по одному и тому же маршруту, по параллельным, пересекающимся или замкнутым маршрутам в строго ограниченных условиях строительной площадки[1] [2].

В качестве примера можно привести технологические операции дорожных катков по уплотнению асфальтобетонных смесей, когда высокое качество работ достигается исключительно за счет строго регламентированного количества проходов [3, 4]. На рисунке 1 представлена челночная схема с неоднократным проходом по одному маршруту и общий вид дорожного катка ДУ-107.

Выполнение таких технологических операций связано с трудностями из-за отсутствия встроенных в машину систем управления. Для функционирования таких систем необходимы адекватные математические модели как самих дорожно-строительных машин, так и процессов их поворота [5].

Практические задачи, связанные с выбором оптимальных конструктивных и эксплуатационных параметров, оказывающих существенное влияние на траекторию движения и точность позиционирования машины в ходе выполнения технологических операций, не решаются аналитическим путем. Этим обусловлена необходимость проведения численного моделирования, которое подразумевает создание математической модели движения изучаемой системы, в том числе модели поворота машины и дальнейшее ее исследование с использованием численных методов, которые можно реализовать на компьютере[1] [4].

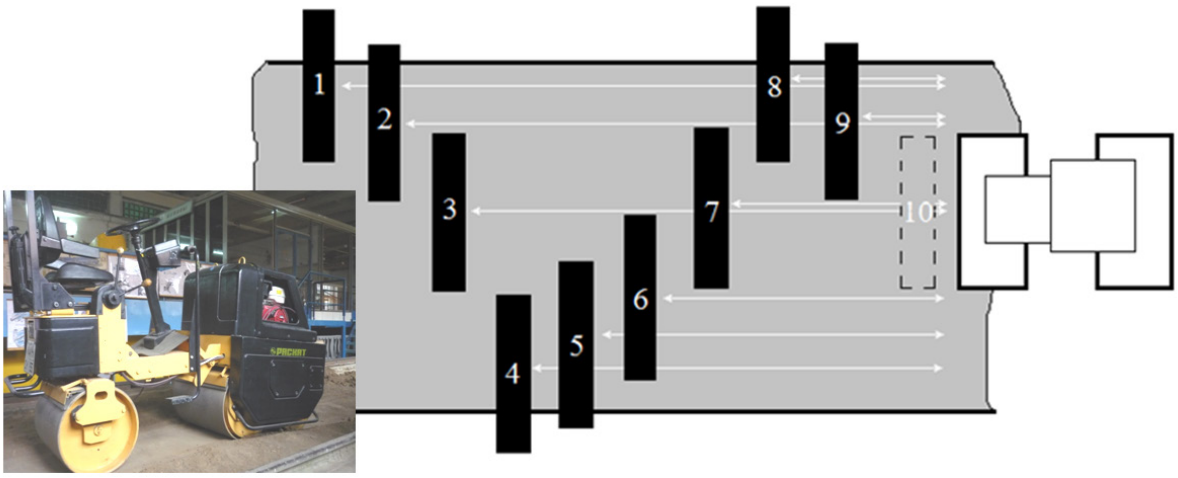


Рисунок 1 – Схема движения катка при выполнении работ по уплотнению асфальтобетонной смеси [2]

Figure 1 – Movement scheme of the road roller during the work for compaction of asphalt concrete mix [2]

[1] Денисова Л. А., Мещеряков В. А., Карабцов Р. Д. Разработка системы управления: моделирование, оптимизация и анализ устойчивости // IV Международная научно-техническая конференция: Проблемы машиноведения. 2020. С. 319–326.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

При криволинейном движении мобильных машин можно выделить два режима поворота: с большими радиусами и большими скоростями движения – он характеризует управляемость; с малыми радиусами и невысокими скоростями движения – он характеризует маневренность. Первый режим характерен для строительных и коммунальных машин, созданных на базе грузовых автомобилей. Для дорожных катков целесообразно рассматривать только второй режим поворота [6, 7].

При составлении математической модели поворота катка были приняты следующие допущения:

1. Ввиду малой рабочей скорости движения (менее 1 м/с) режим характеризуется отсутствием центробежной силы, отсутствием или крайне незначительным боковым ускорением. Такой процесс можно рассматривать как статический[2] [8].
2. Вальцы машины недеформируемые, абсолютно жесткие. Таким образом, отсутствуют боковые уводы опорных поверхностей вальцов.
3. Люфты в шарнирах отсутствуют.
4. Элементы конструкции представлены как абсолютно жесткие тела.
5. Система голономна и стационарна.

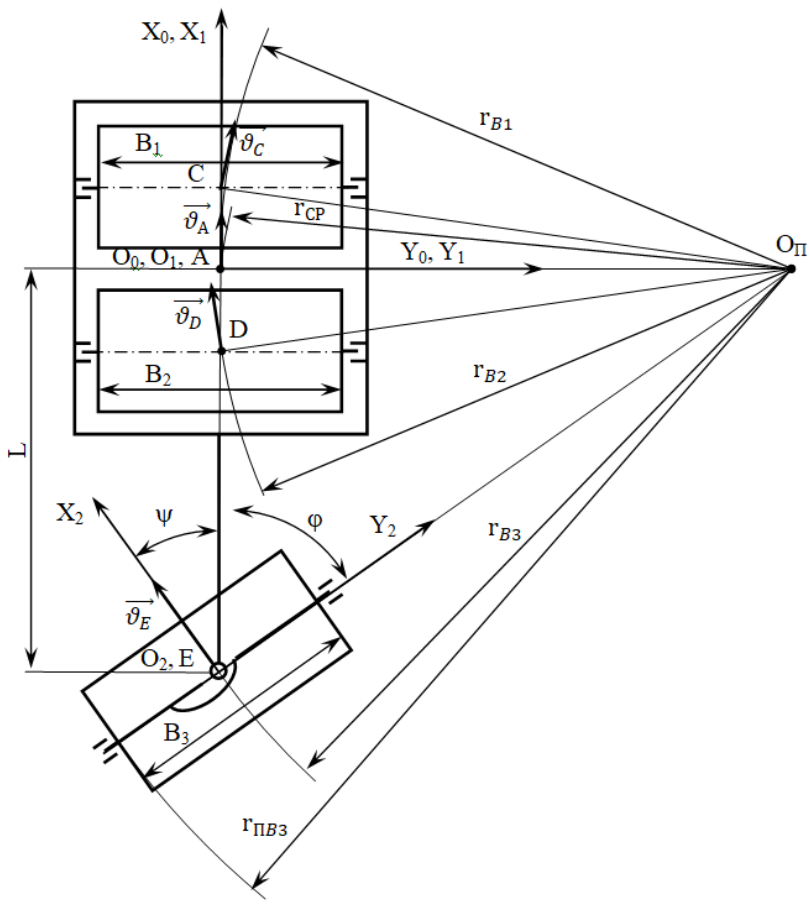


Рисунок 2 – Расчетная схема поворота катка
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Calculation scheme for a road roller turn
Source: compiled by the authors.

[2] Артемьев К. А., Алексеев Т. В., Белокрылов В. Г. и др. Дорожные машины: в 2-х частях. Ч. II. Машины для устройства дорожных покрытий. М.: Машиностроение, 1982. 396 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

На рисунке 2 представлена расчетная схема поворота катка. Криволинейное движение дорожного катка как механической системы может быть определено траекторией движения центра масс первого звена – точки А.

Направление скорости точки А будет совпадать с направлением продольной оси машины O_1X_1 и будет равно

$$\vartheta_A = (\vartheta_C + \vartheta_D)/2\ . \quad (1)$$

Точка $O_П$ пересечения перпендикуляров к направлениям скоростей точек середин продольных осей вальцов катка $\overrightarrow{\vartheta_A}$ и $\overrightarrow{\vartheta_E}$ является мгновенным центром поворота [9].

Особенностью поворота трехосного катка (с расстановкой по базе: два передних неповоротных вальца и один поворотный задний валец) является расположение $O_П$ на продолжении оси, перпендикулярной центру межосевого интервала неповоротных вальцов на продольной оси машины.

Центр масс первого звена, точка O_1 двигается по окружности радиусом $r_{СР}$, точка O_2 – по окружности радиусом $r_{В3}$. Радиусы поворота первого и второго неповоротного вальцов обозначены как $r_{В1}$ и $r_{В2}$ соответственно.

Средний радиус поворота неповоротных вальцов равен

$$r_{СР} = Ltg\psi, \quad (2)$$

где L – расстояние между точками O_1 и O_2.

Поскольку ψ = 90° – ψ, то средний радиус поворота может быть найден, как

$$r_{СР} = Lctg\varphi, \quad (3)$$

где φ – угол поворота оси O_2X_2 относительно оси O_1X_1.

Радиус поворота поворотного вальца $r_{В3}$ будет равен

$$r_{ПВ3} = \frac{L}{\cos\varphi} = \frac{L}{\sin\psi}. \quad (4)$$

Максимальный радиус смещения поворотного вальца равен

$$r_{В3} = r_{В3} + 0{,}5B_3, \quad (5)$$

где B_3 – ширина поворотного вальца.

Подставим выражение (4) в формулу (5) и получим

$$r_{ПВ3} = \frac{L}{\cos\varphi} + 0{,}5B_3 = \frac{L}{\sin\psi} + 0{,}5B_3. \quad (6)$$

Траектория движения точек С и D, лежащих на осях неповоротных вальцов, может быть определена по теореме Пифагора

$$r_{В1} = \sqrt{(AC^2 + (L \cdot tg\psi)^2)}; \quad (7)$$

$$r_{В2} = \sqrt{(AD^2 + (L \cdot tg\psi)^2)}. \quad (8)$$

Угол поворота поворотного вальца зависит от угла поворота руля и может быть определен как

$$\varphi_{рк} = \frac{\psi}{U_{рк}}, \quad (9)$$

где $U_{рк}$ – передаточное отношение рулевого механизма катка.

Математическая модель поворота катка, составленная на основе представленной расчетной схемы, была реализована в программном продукте MATLAB. Программный продукт обладает большим набором встроенных функций для расчета и анализа различного рода данных и благодаря пакетам расширения дает возможность проводить математическое моделирование[3] [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Теоретические исследования направлены на получение характеристик о траектории перестроения катка при движении с постоянной скоростью и в случае перестроения при трогании с места. Цель исследования заключалась в определении зависимости влияния скорости движения дорожного катка и угловой скорости поворота вальца на дистанцию перестроения, а также выявлении влияния угловой скорости вальца на его смещение при перестроении на параллельный курс.

На рисунке 3 представлена траектория движения переднего (А) и заднего (В) вальцов для двух вариантов: *1* – перестроение при движении машины с постоянной скоростью; *2* – перестроение при трогании машины с места.

Сравнительный анализ зависимости траектории движения для перестроения при движении машины с постоянной скоростью и перестроения при трогании машины с места позволяет сделать вывод, что величина дис-

[3] Андрейченко Д. К., Чусов Ю. В., Кононов В. В. Основы работы в системе Matlab. Саратов. 2012. 110 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

танции перестроения на параллельный курс ($x'_п$) и величина смещения поворотного вальца при перестроении (Δy) зависят от начальной скорости движения дорожного катка [11,12].

В результате анализа нормативных документов, определяющих правила технологии уплотнения дорожных покрытий и устанавливающих, во избежание сдвига уплотняемого материала, недопустимость резких поворотов и перестроений, был установлен диапазон скорости поворота вальца ($\dot{\varphi}$), обеспечивающий работу системы управления и выполнение поставленных задач. Угловая скорость поворота поворотного вальца, не допускающая сдвиг уплотняемого материала, должна лежать в диапазоне 6–18 град/с. Именно этот диапазон использовался при исследовании влияния скорости поворота поворотного вальца на величину дистанции перестроения ($x'_п$) и величину смещения поворотного вальца (Δy).

На рисунках 4 и 5 представлены графики, отражающие зависимость траектории движения машины и, как следствие, значение длины дистанции перестроения ($x'_п$) уплотняющего катка и величины смещения поворотного вальца от угловой скорости поворота вальца.

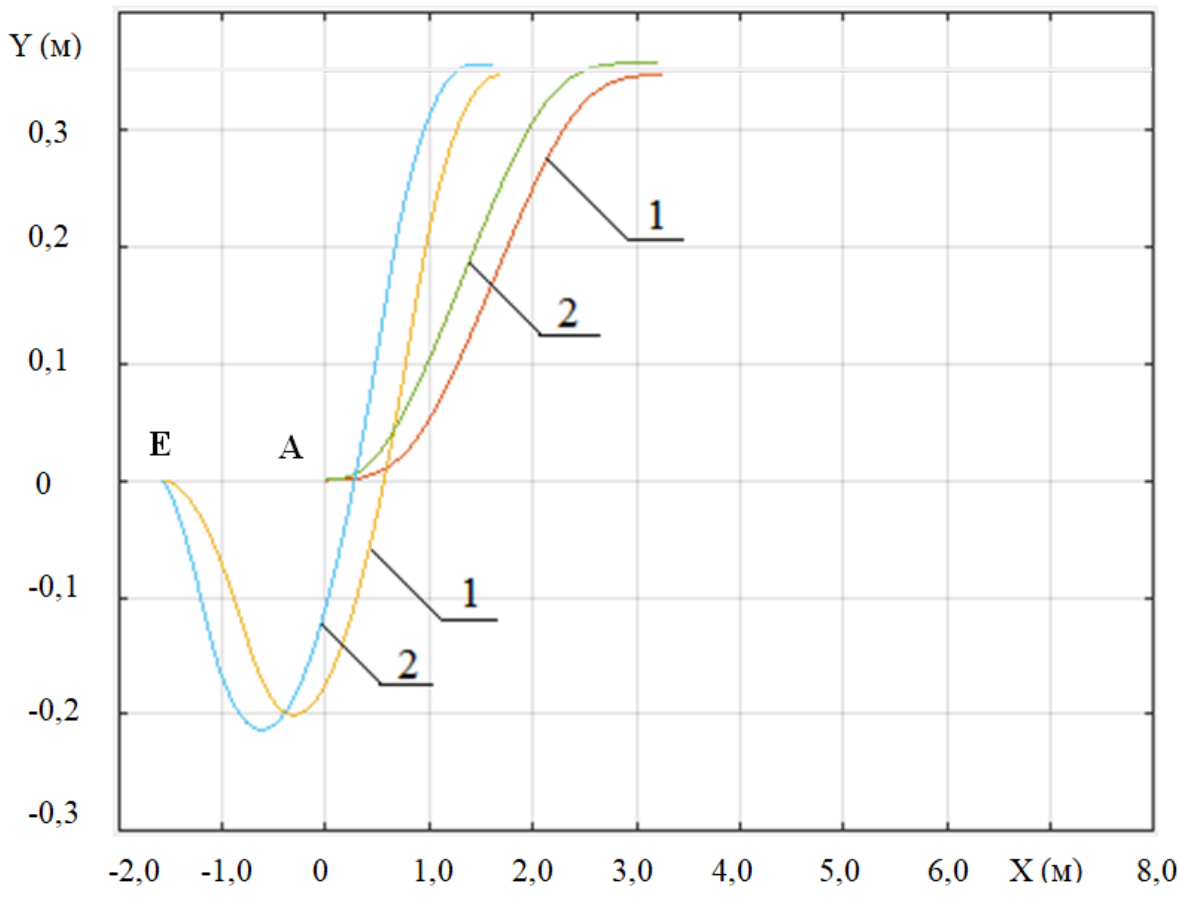


Рисунок 3 – Траектория движения переднего и заднего вальцов дорожного катка при перестроении:
1 – движение с постоянной скоростью;
2 – при трогании машины с места
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – The trajectory of the front and rear rollers of the road roller when changing lanes:
1 – movement at a constant speed;
2 – when starting the machine from a place
Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

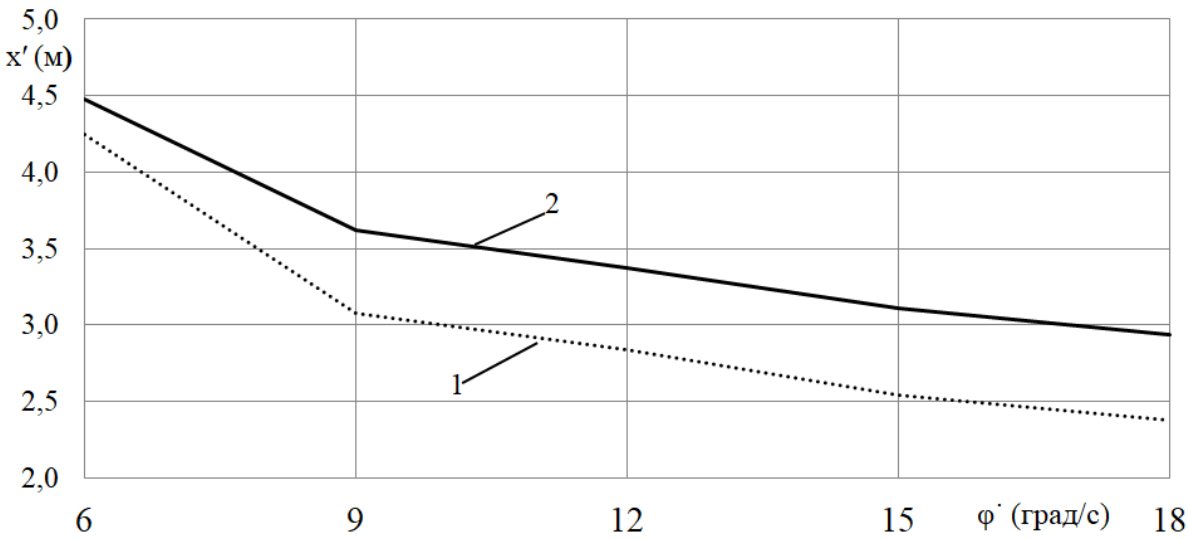


Рисунок 4 – Зависимость дистанции перестроения на параллельный курс от угловой скорости поворота вальца: 1 – движение с постоянной скоростью; 2 – трогание с места
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Dependence of the distance of rebuilding on a parallel course on the angular speed of the drum rotation: 1 – movement at a constant speed, 2 – starting off
Source: compiled by the authors.

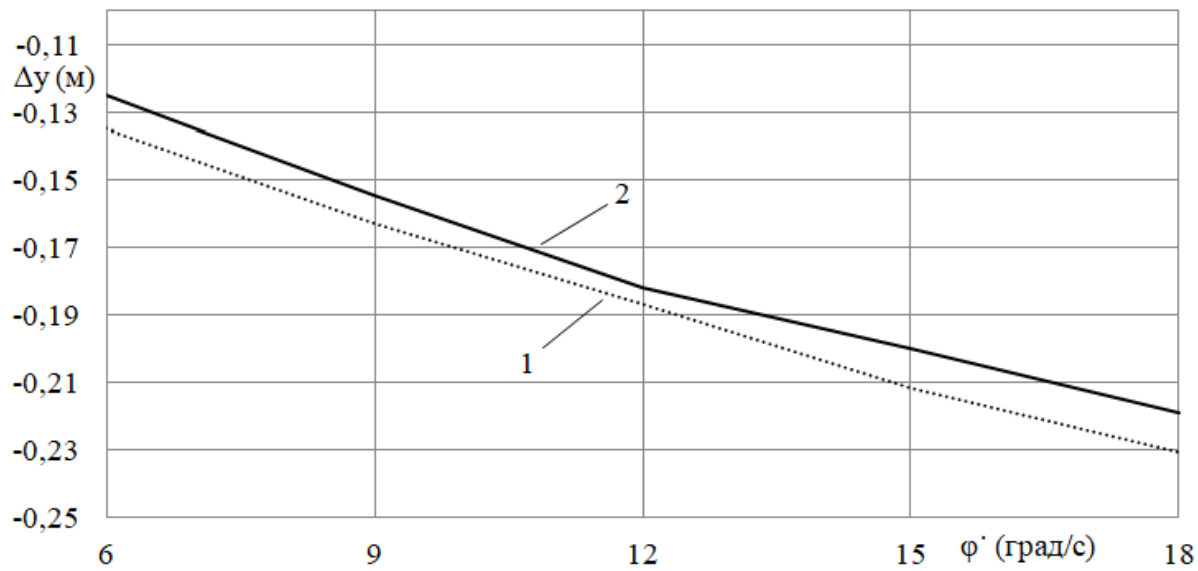


Рисунок 5 – Зависимость смещения поворотного вальца от угловой скорости поворота вальца: 1 – движение с постоянной скоростью; 2 – трогание с места
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – The dependence of the displacement of the rotary roller on the angular velocity drum rotation: 1 – movement at a constant speed, 2 – starting off
Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

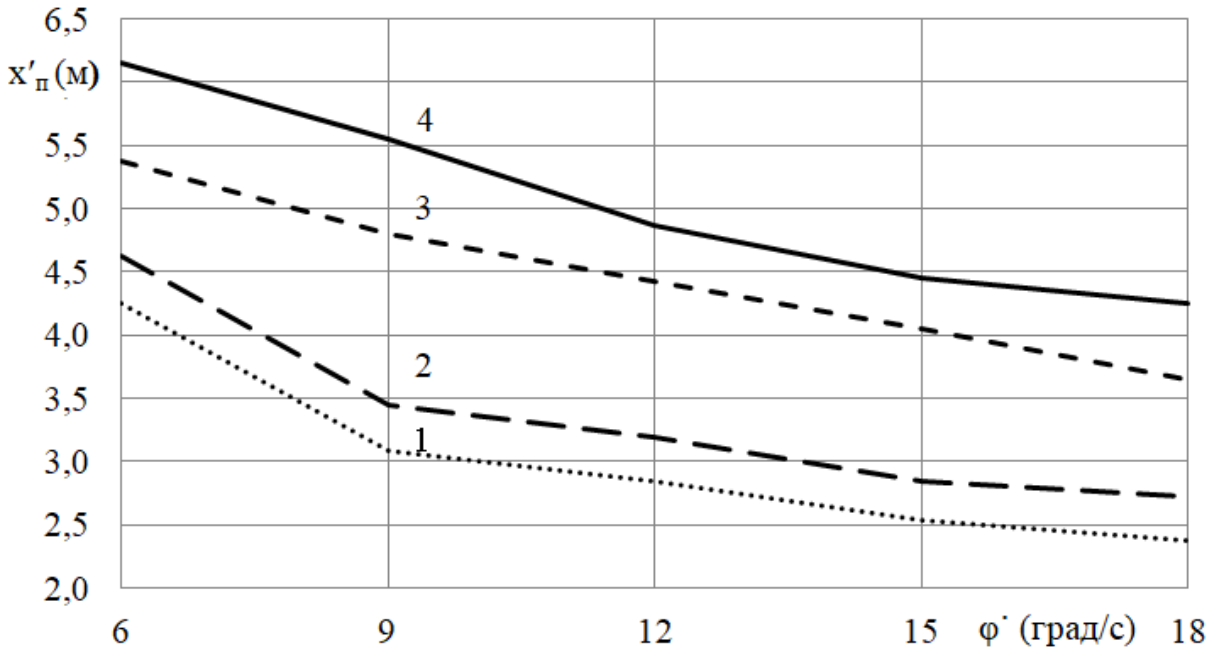


Рисунок 6 – Зависимость дистанции перестроения на параллельный курс от скорости рабочего и транспортного режимов: 1–2 км/ч; 2–3 км/ч; 3–5 км/ч; 4–7 км/ч
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Dependence of the distance of rebuilding on a parallel course on the speed of working and transport modes: 1–2 km/h; 2–3 km / h; 3–5 km / h; 4–7 km/h
Source: compiled by the authors.

Полученные графические зависимости позволили сделать вывод, что на участках 6–9 град/с, 9–12 град/с, 15–18 град/с зависимость дистанции перестроения от угловой скорости поворотного вальца носит линейный характер [13]. Наиболее существенное влияние на дистанцию перестроения оказывает изменение угловой скорости поворотного вальца в диапазоне от 6 до 9 град/с.

В диапазоне 15–18 град/с изменение угловой скорости поворота поворотного вальца оказывает несущественное влияние на дистанцию перестроения. Дистанция перестроения в этом случае уменьшается на 5,3%.

При движении катка с постоянной скоростью, при угловой скорости от 9 до 18 град/с, дистанция перестроения машины на параллельный курс в среднем на 5,5% больше, чем при трогании с места.

На рисунке 6 представлены зависимости дистанции перестроения на параллельный курс ($x'_п$) от скорости рабочего и транспортного режимов *V*.

На графике наглядно видна прослеживаемая прямая зависимость траектории движения машины, дистанции перестроения от скорости движения машины и скорости поворота поворотного вальца. [14, 15]. Так, при уменьшении скорости движения дорожного катка *V* при равных значениях скорости поворота вальца происходит сокращение дистанции перестроения на параллельный курс $x'_п$. При равных значениях скорости движения дорожного катка *V* увеличение значений скорости поворота вальца также приводит к сокращению дистанции перестроения на параллельный курс $x'_п$.

ВЫВОД

На основе составленной математической модели поворота дорожного катка были проведены теоретические исследования, которые позволили изучить влияние эксплуатационных параметров (скорость движения дорожного катка и угловая скорость поворота вальца) на дистанцию перестроения на параллельный курс и величину смещения поворотного вальца, то есть на траекторию движения и точность позиционирования машины [16, 17].

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

В результате проведенных исследований сделан вывод о целесообразности выбора угловой скорости поворота поворотного вальца до 15 град/с. Дальнейшее увеличение угловой скорости поворота вальца несущественно уменьшает дистанцию перестроения, но может привести к сдвигу уплотняемого материала.

Кроме этого, был сделан вывод, что для сокращения дистанции перестроения оптимальным является режим движения дорожного катка с наименьшей скоростью, но с наибольшей скоростью поворота поворотного вальца.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пелевин Е. Е., Цудиков М. Б. Экономическая эффективность роботизации различных типов производства // Juvenis scientia. Экономические науки. 2017. № 6. С.13–17.
2. Савельев С. В., Пермяков В. Б., Михеев В. В., Потеряев И. К. Инновационные решения для повышения эффективности дорожно-строительной уплотняющей техники // Мир транспорта и технологических машин. 2017. № 2 (57). С. 51–59.
3. Савельев С. В., Потеряев И. К. Исследования эффективности уплотняющей техники для строительства автомобильных дорог // Строительные и дорожные машины. 2021. № 2. С. 44–48.
4. Захаренко А. В., Пермяков В. Б., Карпухин И. В. Определение требуемого числа проходов дорожного катка // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2004. № 5 (545). С. 90–92.
5. Сухарев Р. Ю. Математические модели процессов поворота колесных дорожно-строительных машин // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. № 3. С. 259–269.
6. Korchagin P. A., Teterina I. A., Korchagina E. A. Road roller operator's vibroprotection system improvement. Journal of Physics: Conference Series 2021. 1791 (1), ст. 012012. DOI 10.1088/1742-6596/1791/1/012012
7. Sukharev R. Yu. Trajectory plotting algorithm for a self-driving road grader // Journal of Physics: Conference Series: International Conference on Automatics and Energy. ICAE 2021. 2021. С. 012181.
8. Emelyanov R. T., Prokopev A. P., Vasiliev Y. V., Perebeynos D. I., Novruzov V. S. Comprehensive control method of asphalt concrete compaction by road roller Journal of Physics: Conference Series. 2021. 1889(4), 042059. DOI 10.1088/1742-6596/1889/4/042059.
9. Носков Н. К., Трояновская И. П., Титов С. А. Математическая модель силового взаимодействия колеса с грунтом при повороте машины // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2017. Т. 17. № 3. С. 5–15.
10. Руппель Е. Ю., Корчагин П. А., Тетерина И. А., Корчагина Е. А. Математическое описание дорожного вибрационного катка // Строительные и дорожные машины. 2020. № 10. С. 1–17.
11. Denisova L. A., Meshcheryakov V. A. Control systems design: the technology of simulation and optimization. Journal of Physics: Conference Series. 2019. С. 032011. DOI: 10.1088/1742-6596/1260/3/032011
12. Stawowiak M., Kuczaj M. Problematics of Reliability of Road Rollers. Management Systems in Production Engineering. 2018. 26 (2). pp. 124-128. DOI 10.2478/mspe-2018-0020
13. Tong X., Siwei C., Dong W. Ti W., Yang X., Weigong Z. A Novel Path Planning Method for Articulated Road Roller Using Support Vector Machine and Longest Accessible Path with Course Correction. IEEE Access. 2019. 7, 8932491. pp. 182784-182795 DOI 10.1109/ACCESS.2019.2959346
14. Каразин В. И., Хисамов А. В. Разработка систем автопилотирования транспортными средствами // Теория механизмов и машин. 2019. Т. 17, № 4 (44). С. 149–157.
15. Артеменко М. Н., Корчагин П. А., Тетерина И. А. Тенденции развития мобильных беспилотных роботизированных комплексов. Опыт отечественных и зарубежных производителей // Вестник СибАДИ. 2019;16(4):416–430. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-4-416-430.
16. Кондаков С. В., Харлапанов Д. В., Вансович Е. И. Достоверность моделей описания сопротивления повороту быстроходной гусеничной машины // Вестник машиностроения. 2015. № 10. С. 3–7.
17. Титов С. А., Трояновская И. П., Носков Н. К. Обобщенная модель стационарного поворота произвольного транспортного средства // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2017. Т. 17, № 4. С. 38–47.

REFERENCES

1. Pelevin E. E., Cudikov M. B. Jekonomicheskaja jeffektivnost' robotizacii razlichnyh tipov proizvodstva // *Juvenis scientia. Jekonomicheskie nauki*. 2017; 6: 13-17. (In Russ.)
2. Savel'ev S. V., Permjakov V. B., Miheev V. V., Poterjaev I. K. Innovacionnye reshenija dlja povyshenija jeffektivnosti dorozhno-stroitel'noj uplotnjajushhej tehnik // *Mir transporta i tehnologicheskih mashin.* 2017; 2 (57): 51-59. (In Russ.)
3. Savel'ev S. V., Poteryaev I. K. Issledovaniya effektivnosti uplotnyayushchej tekhniki dlya stroitel'stva avtomobil'nyh dorog // *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny.* 2021; 2: 44-48. (In Russ.)
4. Zaharenko A. V., Permyakov V. B., Karpuhin I. V. Opredelenie trebuemogo chisla prohodov dorozhnogo katka // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo.* 2004; 5 (545): 90-92. (In Russ.)
5. Suharev R. Yu. Matematicheskie modeli processov povorota kolesnih dorojno stroitelnih mashin // *Nauchno tehnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2021; 3: 259-269. (In Russ.)
6. Korchagin P. A., Teterina I. A., Korchagina E. A. Mathematical model of the road vibrating roller // *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta.* 2020; 1(57): 133-139. (In Russ.)

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

7. Sukharev R. Yu. Trajectory plotting algorithm for a self-driving road grader // *Journal of Physics: Conference Series.* 2021; 012181. DOI 10.1088/1742-6596/2096/1/012181. (In Russ.)

8. Emelyanov R. T., Prokopev, A. P., Vasiliev, Y. V., Perebeynos, D. I., Novruzov, V. S. Comprehensive control method of asphalt concrete compaction by road roller // Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1889(4): 042059. DOI 10.1088/1742-6596/1889/4/042059.

9. Noskov N. K., Troyanovskaya I. P., Titov S. A. Matematicheskaya model' silovogo vzaimodejstviya kolesa s gruntom pri povorote mashiny // *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroenie*. 2017; 17(3): 5-15.

10. Ruppel E. Yu., Korchagin P. A., Teterina I. A., Korchagina E. A. Matematicheskoe opisanie dorojnogo vibracionnogo katka // *Stroitelnie i dorojnie mashini.* 2020; 10: 11-17 (In Russ.)

11. Denisova L. A., Meshcheryakov V. A. Control systems design: the technology of simulation and optimization // *Journal of Physics: Conference Series.* 2019; 032011. DOI: 10.1088/1742-6596/1260/3/032011 (In Russ.)

12.Stawowiak, M., Kuczaj, M. Problematics of Reliability of Road Rollers // Management Systems in Production Engineering. 2018; 26 (2): 124-128. DOI 10.2478/mspe-2018-0020

13. Tong X., Siwei C., Dong W. Ti W., Yang X., Weigong Z. A Novel Path Planning Method for Articulated Road Roller Using Support Vector Machine and Longest Accessible Path with Course Correction // *IEEE Access.* 2019; 7(8932491): 182784-182795. DOI 10.1109/ACCESS.2019.2959346

14. Karazin V. I., Hisamov A. V. Razrabotka sistem avtopilotirovaniya transportnymi sredstvami // *Teoriya mekhanizmov i mashin.* 2019; 17. 4 (44): 149-157. (In Russ.)

15. Artemenko M. N., Korchagin P. A., Teterina I. A. Tendencii razvitija mobil'nyh bespilotnyh robotizirovannyh kompleksov. Opyt otechestvennyh i zarubezhnyh proizvoditelej // *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2019;16(4):416-430. (In Russ.) https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-4-416-430

16. Kondakov S. V., Harlapanov D. V., Vansovich E. I. Dostovernost' modelej opisaniya soprotivleniya povorotu bystrohodnoj gusenichnoj mashiny // *Vestnik mashinostroeniya.* 2015; 10: 3-7. (In Russ.)

17. Titov S. A., Troyanovskaya I. P., Noskov N. K. Obobshchennaya model' stacionarnogo povorota proizvol'nogo transportnogo sredstva. // *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroenie.* 2017; 17. 4: 38-47. (In Russ.)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Каждый автор внес равную долю участия как во все этапы проводимого теоретического исследования, так и при написании разделов данной статьи.

COAUTHORS' CONTRIBUTIONS

Each author has an equal share of contributions to the theoretical sections of the article.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Артеменко Максим Николаевич – инженер.

Корчагин Павел Александрович – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Подъемно-транспортные машины, механика и гидропривод».

Тетерина Ирина Алексеевна – канд. техн. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского управления.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Maxim N. Artemenko – Engineer, 100th Military Representation.

Pavel A. Korchagin – Dr. of Sci., Professor of the Carrying and Lifting Machines, Mechanics and Hydraulic Drive Department.

Irina A. Teterina – Cand. of Sci., Senior Researcher of the Research Department.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

УДК 625.08
DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-330-342
EDN: LCUINW
Научная статья

Check for updates

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ГРУНТОМ НОЖА И НИЖНЕЙ ЧАСТИ ОТВАЛА БУЛЬДОЗЕРА В НАЧАЛЕ ПРОХОДА

В. А. Николаев
Ярославский государственный технический университет,
г. Ярославль, Россия
Nikolaev53@inbox.ru, https://orcid.org/0000-7503-6612

АННОТАЦИЯ

Введение. *В начале производства дорожно-строительных работ необходимо удалить камни, кусты, деревья с полосы отвода будущей дороги. Для выполнения таких работ целесообразно использовать агрегаты циклического действия, в частности с бульдозерным оборудованием. Взаимодействие с грунтом ножа и отвала бульдозера сопровождается комплексом взаимосвязанных процессов. Эти процессы осложняют теоретический анализ взаимодействия ножа и нижней части отвала бульдозерного оборудования с грунтом. Поэтому, несмотря на большое количество публикаций, взаимодействие ножа и нижней части отвала бульдозерного оборудования с грунтом проанализировано недостаточно подробно. Между тем без подробного анализа этого взаимодействия сложно осуществить модернизацию бульдозерного оборудования.*

Методика исследования. *Взаимодействие с грунтом ножа и отвала бульдозера имеет две особенности. Во-первых, нож бульдозера с прямым отвалом установлен перпендикулярно направлению движения агрегата, поэтому нож бульдозера осуществляет энергозатратное резание грунта. Во-вторых, отрезанный пласт грунта отвал бульдозера перемещает перед собой. Вогнутая форма поверхности рабочего органа обусловливает вогнутую эпюру напряжений смятия, приводящую к появлению зоны объёмного сжатия грунта, которая во время передвижения агрегата всё более увеличивается. Увеличивается как девиаторная, так и шаровая составляющая тензора напряжений в грунте. Поэтому передняя поверхность ножа разделена на лезвие и плоскость, осуществляющую совместно с плоскостью нижней части отвала смещение первично сдвинутого грунта. Необходимо рассматривать отдельно воздействие на грунт лезвия, края ножа, передней поверхности ножа и нижней части отвала.*

Результаты. *Из чертежей определены: длина следа поверхности псевдосдвига грунта в продольно-вертикальном сечении, площадь первичного сдвига грунта краем ножа, площадь воздействия на грунт поверхности ножа, площадь воздействия на грунт поверхности нижней части отвала. Вычислена площадь псевдосдвига грунта и площадь смещения первично сдвинутого грунта. Построены зависимости площадей от заглубления ножа бульдозера.*

Заключение. *По мере увеличения глубины хода ножа бульдозера площадь псевдосдвига грунта поверхностью ножа, площадь первичного сдвига грунта правой или левой кромкой ножа увеличиваются линейно. При этом площадь смещения первично сдвинутого грунта увеличивается по параболе. Выявление площади псевдосдвига грунта, площади первичного сдвига грунта правой или левой кромкой ножа и площади смещения первично сдвинутого грунта позволит определить затраты энергии, необходимой для воздействия поверхности ножа и нижней части отвала на грунт.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *грунт, бульдозерное оборудование, нож, нижняя часть отвала, резание, анализ, площадь поверхности.*

Статья поступила в редакцию 10.03.2022; одобрена после рецензирования 19.05.2022; принята к публикации 10.06.2022.
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.
Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Николаев В. А. Взаимодействие с грунтом ножа и нижней части отвала бульдозера в начале прохода // *Вестник СибАДИ.* 2022. Т.19, № 3 (85). С. 330-342. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-330-342

© Николаев В. А., 2022

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-330-342
EDN: LCUINW
Original article

KNIFE AND BULLDOZER BOTTOM BLADE INTERACTION WITH SOIL AT THE BEGINNING OF A PASS

Vladimir A. Nikolayev
Yaroslavl Technical University,
Yaroslavl, Russia
Nikolaev53@inbox.ru, https://orcid.org/0000-7503-6612

ABSTRACT

Introduction. *At the beginning of the production of road construction works, it is necessary to remove stones, bushes, trees from the right-of-way of the future road. To perform such work, it is advisable to use cyclic units, in particular, with bulldozer equipment. Interaction with the soil of the knife and the blade of the bulldozer is accompanied by a complex of interrelated processes. These processes complicate the theoretical analysis of the interaction of the knife and the bottom part of the blade of bulldozer equipment with the soil. Therefore, despite the large number of publications, the interaction of the knife and the bottom part of the blade of bulldozer equipment with the soil is not analyzed in sufficient details. Meanwhile, without a detailed analysis of this interaction, it is difficult to modernize bulldozer equipment.*

The method of research. *Interaction with the soil of the knife and the blade of the bulldozer has two features. First, the knife of a bulldozer with a straight blade is installed perpendicular to the direction of movement of the unit, so the bulldozer knife carries out energy-intensive cutting of the soil. Secondly, the cut layer of soil moves the pile of the bulldozer in front of it. The concave shape of the surface of the working body causes a concave mapping of crumple stresses, leading to the appearance of a zone of volumetric compression of the soil, which increases more and more during the movement of the unit. Both the deviator and ball components of the stress tensor in the ground increase. Therefore, the front surface of the knife is divided into a blade and a plane that carries out, together with the plane of the lower part of the blade, the displacement of the primary displaced soil. It is necessary to consider separately the impact on the ground of the blade, the edge of the knife and the front surface of the knife and the lower part of the blade.*

Results. *From the drawings the length of the trace of the surface of the pseudo-displacement of the soil in the longitudinal-vertical section, the area of the primary ground shift with the edge of the knife, the area of impact on the ground of the knife surface, the area of impact on the ground of the surface of the lower part of the blade are determined. The area of pseudo-displacement of the soil and the area of displacement of the primary shifted soil were calculated. The dependencies of the areas on the recess of the bulldozer knife are constructed.*

Conclusion. *As the depth of the bulldozer knife increases, the area of pseudo-displacement of the soil by the surface of the knife, the area of primary ground shear with the right or left edge of the knife increases linearly. In this case, the displacement area of the primary shifted soil increases by the parabola. Identifying the area of the pseudo-displacement of the soil, the area of the primary ground shift with the right or left edge of the knife and the displacement area of the primary shifted soil will determine the energy costs required to affect the surface of the knife and the lower part of the blade on the ground.*

KEYWORDS: *soil, bulldozer equipment, knife, bottom blade, cutting, analysis, surface area.*

The article was submitted 10.03.2022; approved after reviewing 19.05.2022; accepted for publication 10.06.2022.
The authors have read and approved the final manuscript.
Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Nikolayev V. A. Knife and bulldozer bottom blade interaction with soil at the beginning of a pass. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2022; 19 (3): 330-342. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-330-342

© Nikolayev V. A., 2022

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

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ:

1) выявлены комплексы взаимосвязанных процессов, происходящих в грунте при поступлении отрезанного пласта на рабочую поверхность ножа и отвала;

2) разработана методика определения площади поверхности псевдосдвига грунта, площади первичного сдвига грунта краем ножа и площади смещения грунта ножом и нижней частью отвала;

3) приведён пример измерений и расчётов этих площадей, исходя из начальных условий;

4) построены зависимости площадей от заглубления ножа бульдозера.

ВВЕДЕНИЕ

В начале производства дорожно-строительных работ необходимо удалить камни, кусты, деревья с полосы отвода будущей дороги. Для выполнения таких работ целесообразно использовать агрегаты циклического действия, в частности с бульдозерным оборудованием. Хотя теоретические основы разработки грунта весьма подробно рассмотрены[1, 2, 3][1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22], но, основываясь на них, сложно выявить и сопоставить частные затраты энергии воздействия на грунт элементов технических средств, в частности бульдозерного оборудования.

Взаимодействие с грунтом ножа и отвала бульдозера сопровождается комплексом взаимосвязанных процессов. При поступлении отрезанного пласта на рабочую поверхность ножа и отвала в грунте происходит:

– взаимное смещение структурных микро- и макроотдельностей;

– разрушение структурных отдельностей вследствие трения грунта о рабочую поверхность отвала и грунта о грунт;

– выдавливание воды и воздуха из пор;

– сжатие защемлённого воздуха в замкнутых и тупиковых порах;

– деформация плёнок адсорбированной воды в точках взаимного соприкосновения частиц;

– упругие и пластические деформации структурных отдельностей;

– пластические деформации органических частиц, имеющихся в грунте.

Указанные процессы осложняют теоретический анализ взаимодействия ножа и нижней части отвала бульдозерного оборудования с грунтом. Поэтому, несмотря на большое количество публикаций, взаимодействие ножа и нижней части отвала бульдозерного оборудования с грунтом проанализировано недостаточно подробно. Между тем без подробного анализа этого взаимодействия сложно осуществить модернизацию бульдозерного оборудования.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

При вспашке почвы [26] основная работа рыхления приходится на лемех и переднюю часть отвала. Разрушение происходит вдоль двух поверхностей раздела, первая из которых проходит вертикально и наклонена к стенке борозды под углом $\psi_г$, вторая начинается от дна борозды и наклонена к нему под углом $\psi_в$, измеренным в плоскости, ортогональной лезвию лемеха. Аналогично при взаимодействии с грунтом бульдозера основная работа рыхления приходится на нож и нижнюю часть отвала. Однако сдвиг пласта ножом бульдозера возможен только под углом $\psi_в$, измеренным в продольно-вертикальной плоскости.

В отличие от вспашки почвы взаимодействие с грунтом ножа и отвала бульдозера имеет две особенности. Во-первых, лемех плуга установлен под острым углом к направлению движения агрегата, а нож бульдозера с прямым отвалом – перпендикулярно направлению движения агрегата, поэтому лемех плуга осуществляет резание со скольжением, а нож бульдозера более энергозатратное резание грунта. Во-вторых, отрезанный пласт почвы отвал плуга оборачивает в сторону, а отвал бульдозера осуществляет более энергозатратное перемещение грунта перед собой. Поэтому при обороте пласта почвы происходит только трение грунта об отвал, а при разработке грунта бульдозером происходит как трение грунта об отвал, так и трение разрыхлённого грунта о неразрыхлённый грунт.

---

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

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

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

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

После заглубления нож и нижняя часть отвала бульдозера начинают упругое сжатие отделённого пласта, которое усиливается по мере продвижения агрегата. Это увеличение связано не только с воздействием силы тяжести отделённого пласта грунта на отрезаемый грунт, но и с формой рабочей поверхности отвала бульдозера. Вогнутая форма поверхности рабочего органа обусловливает вогнутую эпюру напряжений смятия (рисунок 1, а), приводящую к появлению зоны сжатия грунта, которая во время передвижения агрегата всё более увеличивается.

Девиаторная составляющая тензора напряжений сжатия, направленная по осевой линии дуги *LM*, также увеличивается. Появляется шаровая составляющая тензора напряжений, которая имеет тенденцию к увеличению с увеличением вогнутости рабочей поверхности. При этом грунт перед рабочей поверхностью отвала разрушается на фрагменты самым энергозатратным способом объёмного сжатия.

Точка *D* на рисунке 1, б соответствует положению частицы грунта на рабочей поверхности отвала, когда зона сжатия достигнет точки *A*, если имеется край неразработанного грунта или поперечная борозда. В этот момент нормаль к рабочей поверхности отвала в крайней верхней точке контакта расположена горизонтально. По мере дальнейшего перемещения пласта грунта по рабочей поверхности отвала граница зоны сжатия смещается вниз. При этом продолжается упругое сжатие грунта в пласте, достигая предела прочности на сдвиг. Однако при воздействии на грунт ножа и нижней части отвала бульдозера, за редким исключением, отсутствует край неразработанного грунта или поперечная борозда. Поэтому граница зоны сжатия полностью расположена в неразрыхлённом грунте. Грунт перед ножом бульдозера испытывает самую энергозатратную деформацию объёмного сжатия. Отсюда затраты энергии на один кубический метр грунта, разрабатываемого бульдозером, очень велики. Фактором, уменьшающим затраты энергии на разработку грунта бульдозером, является малая скорость агрегата, которая существенно меньше скорости фронта ударной волны в грунте. Фронт ударной волны, перемещаясь в грунте впереди отвала, способствует разрушению сплошности грунта.

Когда напряжение объёмного сжатия грунта достигнет критического значения, может произойти первичный сдвиг пласта под углом $\psi_в$, измеренным в продольно-вертикальной плоскости. Следует обратить внимание на две существенных особенности сдвига грунта ножом и нижней частью отвала бульдозера. Первая особенность заключена в сложности определения площади поверхности сдвига в продольно-вертикальной плоскости. След поверхности сдвига не является идеальной прямой, поэтому лишь в первом приближении, вычисляя площадь поверхности сдвига, необходимо след поверхности сдвига в продольно-вертикальной плоскости умножить на ширину плоскости сдвига. Во втором приближении, вычисляя площадь поверхности сдвига, следует учитывать краевые эффекты, то есть распространение поверхности сдвига в массив грунта по краям ножа, если резание грунта зажатое в поперечно-вертикальной плоскости, или распространение поверхности сдвига в массив грунта с одного края ножа, если резание грунта полузажатое в поперечно-вертикальной плоскости. В третьем приближении поверхность сдвига грунта ножом и нижней частью отвала бульдозера является не плоскостью, а сложной поликриволинейной поверхностью, площадь которой меняется по величине и форме во времени. Для упрощения расчёта будем считать поверхность сдвига грунта плоской, а её отклонения от плоскости учтём корректировкой напряжения сдвига.

Вторая особенность заключена в том, что явный сдвиг грунта бульдозером маловероятен в связи с большой площадью поверхности сдвига. Сдвиг грунта будет состоять из периодических микросдвигов [23]. Микросдвиги обусловлены превышением предела прочности грунта в отдельных участках рассматриваемого сечения. После микросдвига грунта напряжение в каком-либо участке уменьшится на некоторую величину, затем вновь возрастёт до предела прочности на сдвиг за счёт давления ножа и нижней части отвала, передаваемого через слой грунта. Путь агрегата, на котором происходит микросдвиг грунта, обусловлен физико-механическими свойствами грунта, формой рабочей поверхности ножа и нижней части отвала, скоростью агрегата. Установлено, что средний путь агрегата, на котором происходит микросдвиг грунта, 18 мм [23]. Так как сдвиг пласта состоит из периодических микросдвигов, при вычислении силы, необходимой для сдвига грунта, следует сделать поправку на коэффициент микросдвигов $k_{мсд} \approx 0{,}5$ [23]. Его физический смысл заключён в учёте доли влияния затрат энергии на создание в грунте деформации объёмного сжатия на общие затраты энергии в момент сдвига грунта.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

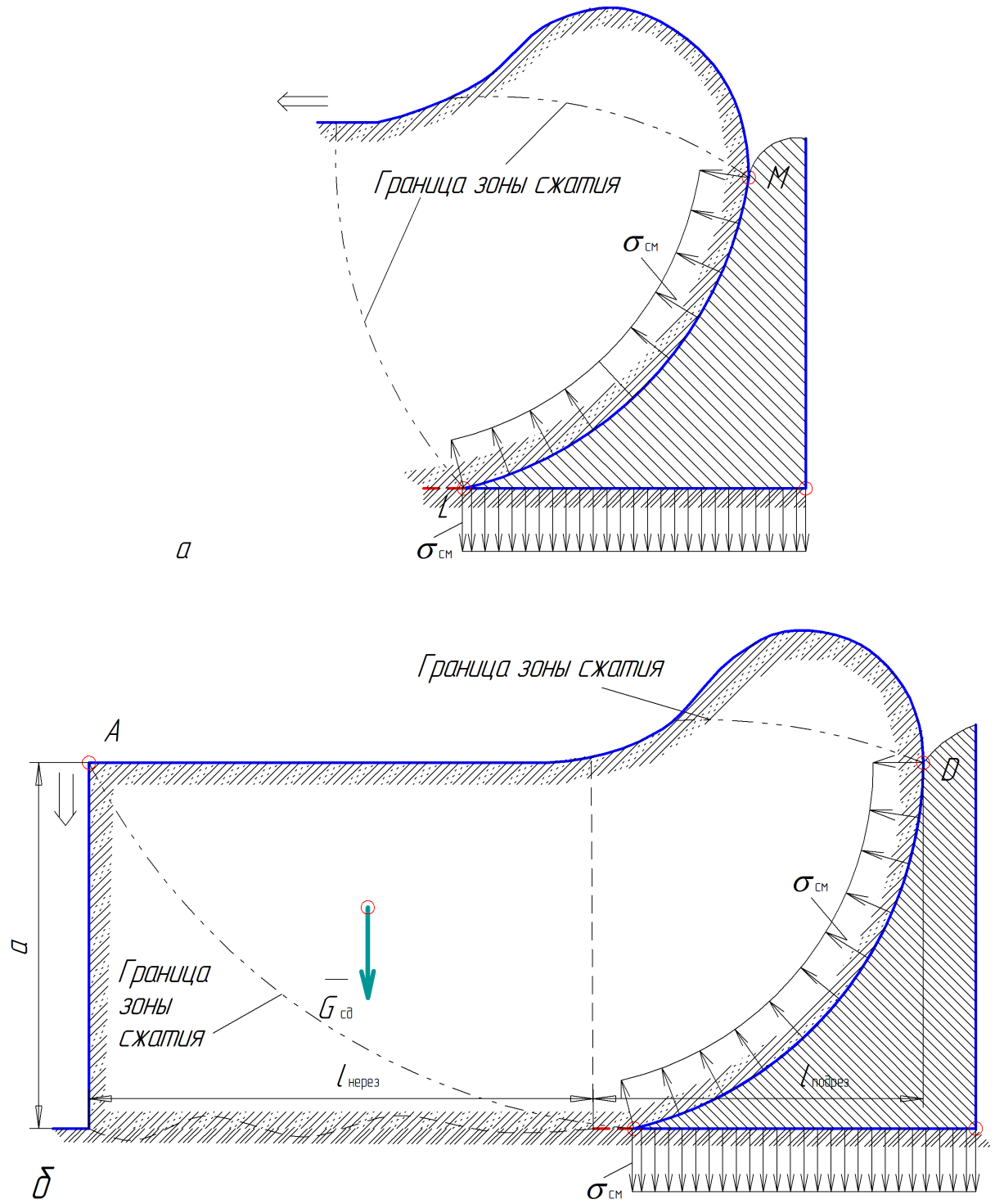


Рисунок 1 – Вертикальное сечение пласта в продольно-вертикальной плоскости:
а – при внедрении ножа бульдозера в грунт; б – распространение границы объёмного сжатия до края неразработанного грунта или поперечной борозды
Источник: составлено автором.

Figure 1 – Vertical cross-section of the layer in the longitudinal-vertical plane:
a) when the bulldozer knife is inserted into the ground;
b) extension of the volumetric compression boundary to the edge of undeveloped soil or transverse furrow
Source: compiled by the author.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Разберём на конкретном примере полузажатое резание грунта острым ножом (рисунок 2). Проведём перпендикуляр к передней поверхности ножа через точку *A*, из кромки лезвия ножа. От него отложим угол трения грунта о сталь $\varphi_{с-г}$. След АН первичного сдвига грунта в продольно-вертикальном сечении наклонен к горизонтали под углом $\psi_в=14°$ и имеет длину $l_{сд}$. Так как реальный сдвиг грунта по этой поверхности маловероятен, назовём её плоскость псевдосдвига**.** Площадь наклонной плоскости псевдосдвига, след которой в продольно-вертикальном сечении АН,

$$S_{сд}=Bl_{сд}. \quad (1)$$

Сдвиг также осуществляют края ножа и нижней части отвала. Если рассматривать в поперечно-вертикальной плоскости, при полузажатом резании или правая или левая кромка ножа осуществляет сдвиг в условной плоскости *ABCH*. Площадь поверхности сдвига грунта правой или левой кромкой ножа S_{ABCH}.

Плоскость ножа смещает грунт после его первичного сдвига. Площадь смещения грунта $S_{см}=S_{BCDE}$ (см. рисунок 2). Если заглубление более $h_н$, с грунтом взаимодействует не только плоскость ножа, но и нижняя часть отвала бульдозера. При этом площадь воздействия на грунт поверхности ножа S_{BCDE}, поверхности нижней части отвала S_{DEMN}. Общая площадь смещаемого грунта

$$S_{см}=S_{BCDE}+S_{DEMN}. \quad (2)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Определим длину следа в продольно-вертикальном сечении и площадь поверхности псевдосдвига грунта, площадь первичного сдвига грунта краем ножа и площадь смещения грунта ножом и нижней частью отвала, если заглубление ножа изменяется от 50 до 300 мм, радиус закругления отвала $R=1000$ мм, ширина ножа $B=2500$ мм, длина ножа $l_н=120$ мм.

Для обеспечения заглубления оборудования бульдозера, чтобы задняя поверхность не взаимодействовала с грунтом при заглублении, задний угол ножа должен быть $\varepsilon\geq20°$. Так как угол заострения ножа $i=\alpha-\varepsilon\geq30°$, передний угол $\alpha\geq50°$. Примем $\alpha=50°$, $\varepsilon=20°$, (см. рисунок 2). Угол заострения и передний угол больше угла трения грунта о сталь: $\varphi_{с-г}\approx26°$.

Допустим, глубина хода ножа $a=50$ мм. Из рисунка 2, а высота подъёма грунта ножом $h_н=92$ мм. Так как средний путь агрегата, на котором происходит микросдвиг грунта, 18 мм, разделим переднюю поверхность ножа на лезвие длиной $l_н=18$ мм и плоскость, $l_{п\,н}=102$ мм. Допустим, коэффициент, учитывающий увеличение объёма грунта при его разрыхлении, $k_р=1{,}5$. Тогда на сходе с ножа толщина слоя грунта $1{,}5a$.

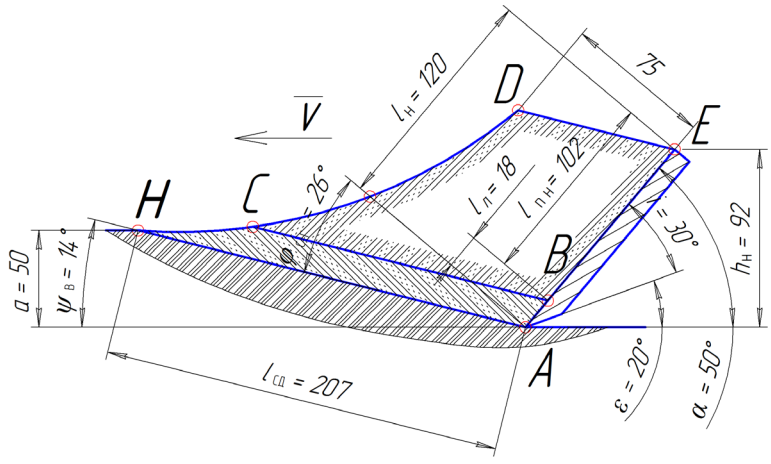
Из рисунка 2 определим:

а) длину $l_{сд}$ следа *AH* поверхности псевдосдвига грунта в продольно-вертикальном сечении;

б) площадь плоскости *ABCH* первичного сдвига грунта краем ножа;

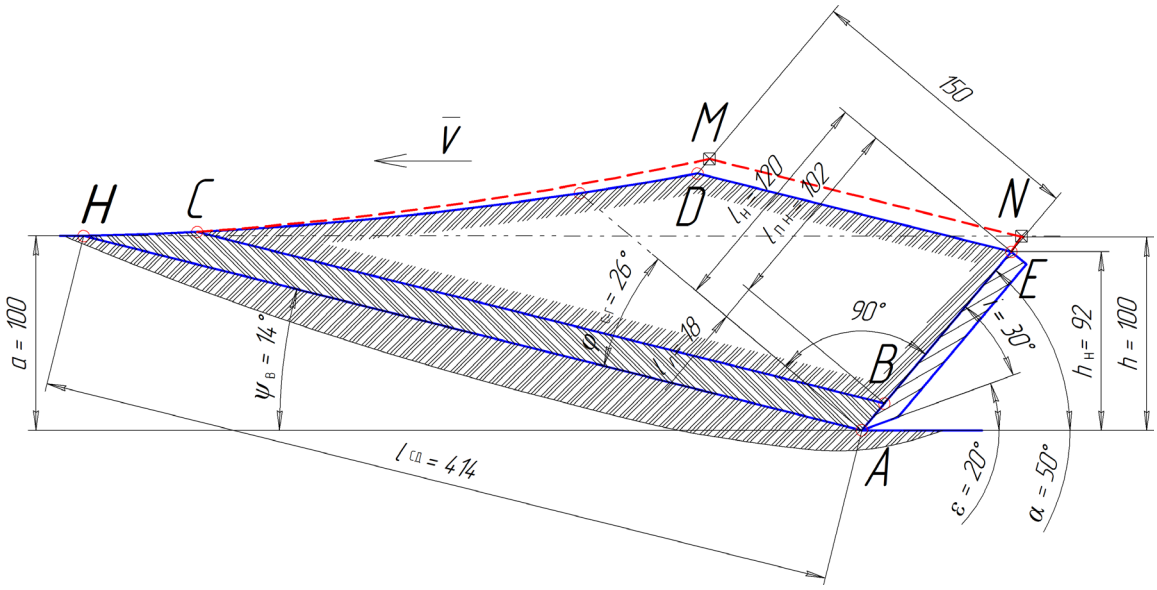
в) площадь *BCDE* воздействия на грунт поверхности ножа;

г) площадь *DEMN* воздействия на грунт поверхности нижней части отвала.

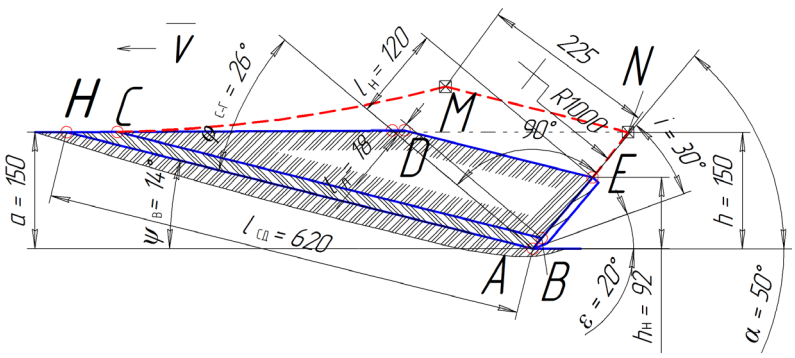


а

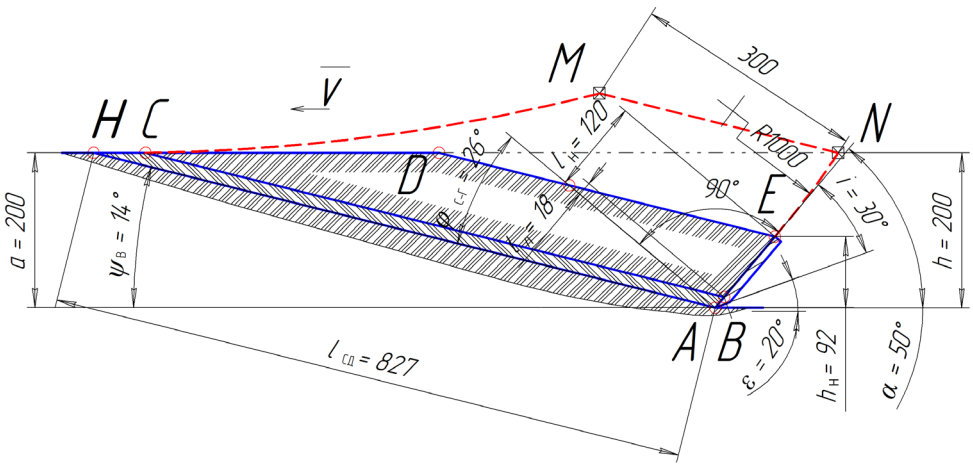
© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal



б



в



г

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

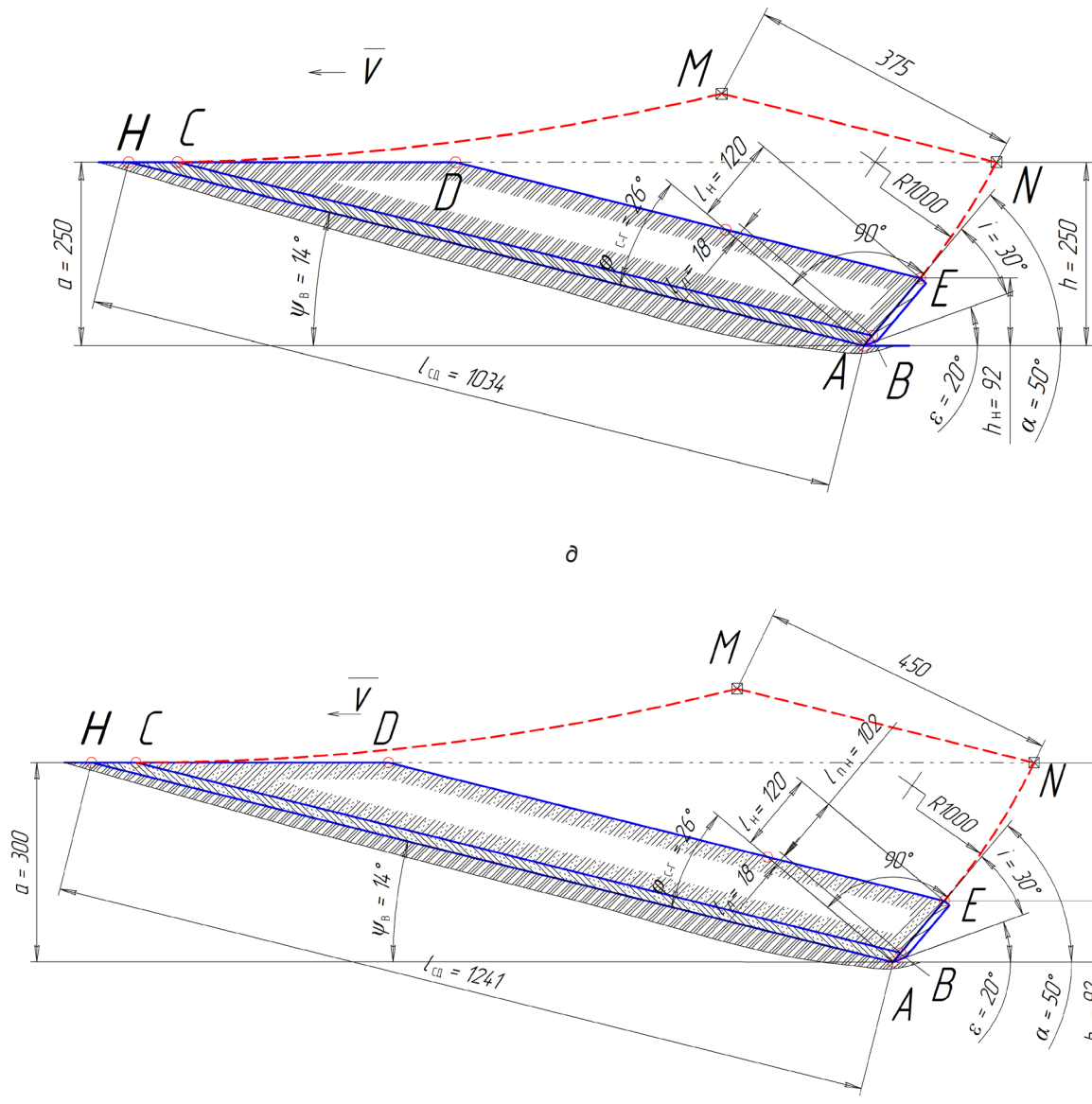


Рисунок 2 – Определение площадей сдвига грунта лезвием и поверхностью ножа в начале прохода бульдозера при заглублении ножа: а – 50 мм; б – 100 мм; в – 150 мм; г – 200 мм; д – 250 мм; е – 300 мм
Источник: составлено автором.

Figure 2 – Determination of the areas of ground shear with the blade and the surface of the knife at the beginning of the bulldozer pass when the knife is buried: 50 mm; b) 100 mm; c) 150 mm; d) 200 mm; e) 250 mm; (e) 300 mm
Source: compiled by the author.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

Таблица

Площади сдвига грунта лезвием ножа бульдозера после заглубления и площади смещения сдвинутого грунта поверхностью ножа и нижней части отвала

Источник: составлено автором.

Table

Shift areas of the bulldozer blade after burial and displacement areas of the displaced soil by the blade surface and the bottom blade

Source: compiled by the author.

Заглубление ножа, а	Длина следа первичного сдвига грунта	Ширина захвата, В	Площадь сдвига грунта по наклонной поверхности	Площадь сдвига грунта в продольно-вертикальной плоскости	Площадь сечения смещаемого грунта ножом	Площадь сечения грунта, смещаемого нижней частью отвала	Общая площадь сечения смещаемого грунта
мм	мм	мм	кв. мм	кв. мм	кв. мм	кв. мм	кв. мм
50	207	2500	517500	2882	10004	0	10004
100	414	2500	1035000	6293	23656	2238	25894
150	620	2500	1550000	9590	37376	23420	60796
200	827	2500	2067500	12924	55806	55517	111323
250	1034	2500	2585000	16271	74770	101210	175980
300	1241	2500	3102500	19618	93734	160143	253877

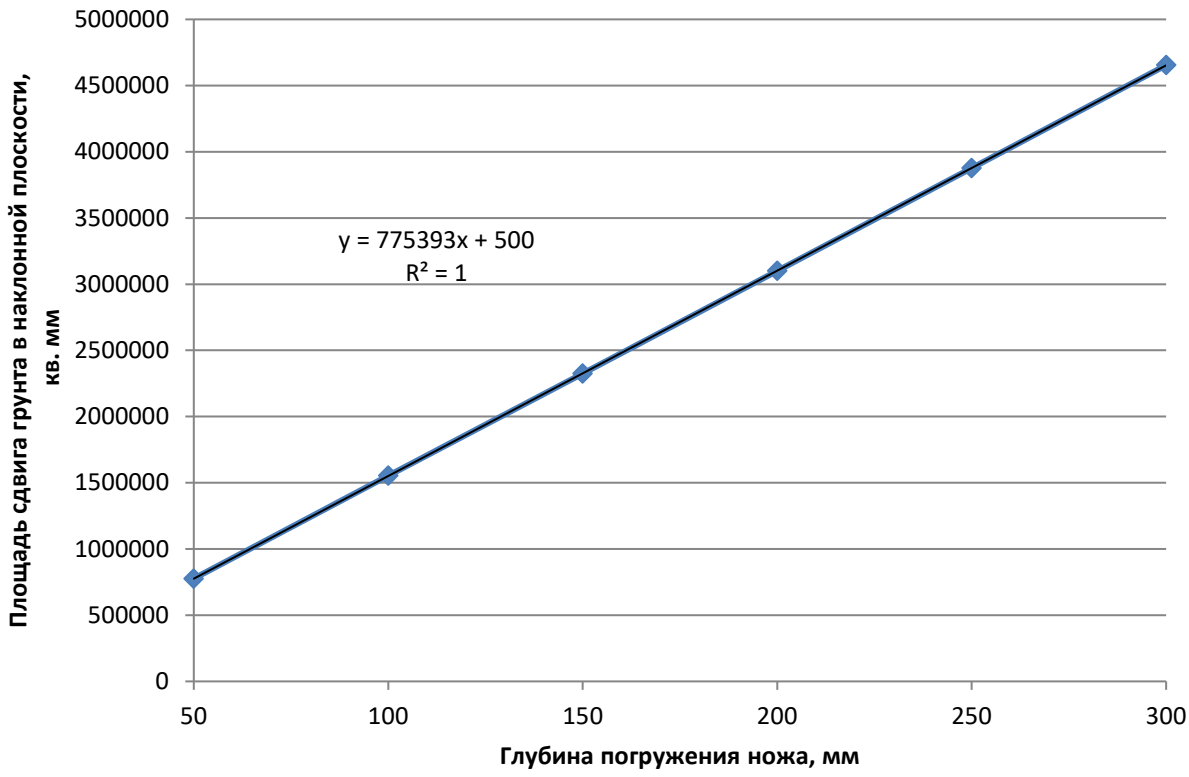


Рисунок 3 – Зависимость площади поверхности псевдосдвига грунта от заглубления ножа бульдозера

Источник: составлено автором.

Figure 3 – Dependence of the surface area of the soil pseudo-slide on the recess of the bulldozer knife

Source: compiled by the author.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

По формулам (1), (2) вычислим площадь псевдосдвига, след которой в продольно-вертикальном сечении AH, и общую площадь смещаемого грунта. Результаты измерений и вычислений в таблице.

На основе результатов измерений и вычислений построим зависимости от заглубления ножа бульдозера: площади поверхности псевдосдвига грунта; площади ABCH первичного сдвига грунта краем ножа; площади BC*DE* воздействия на грунт поверхности ножа, площади *DEMN* воздействия на грунт поверхности нижней части отвала и общей площади смещаемого грунта. Аппроксимация зависимостей на графиках (рисунки 3, 4, 5).

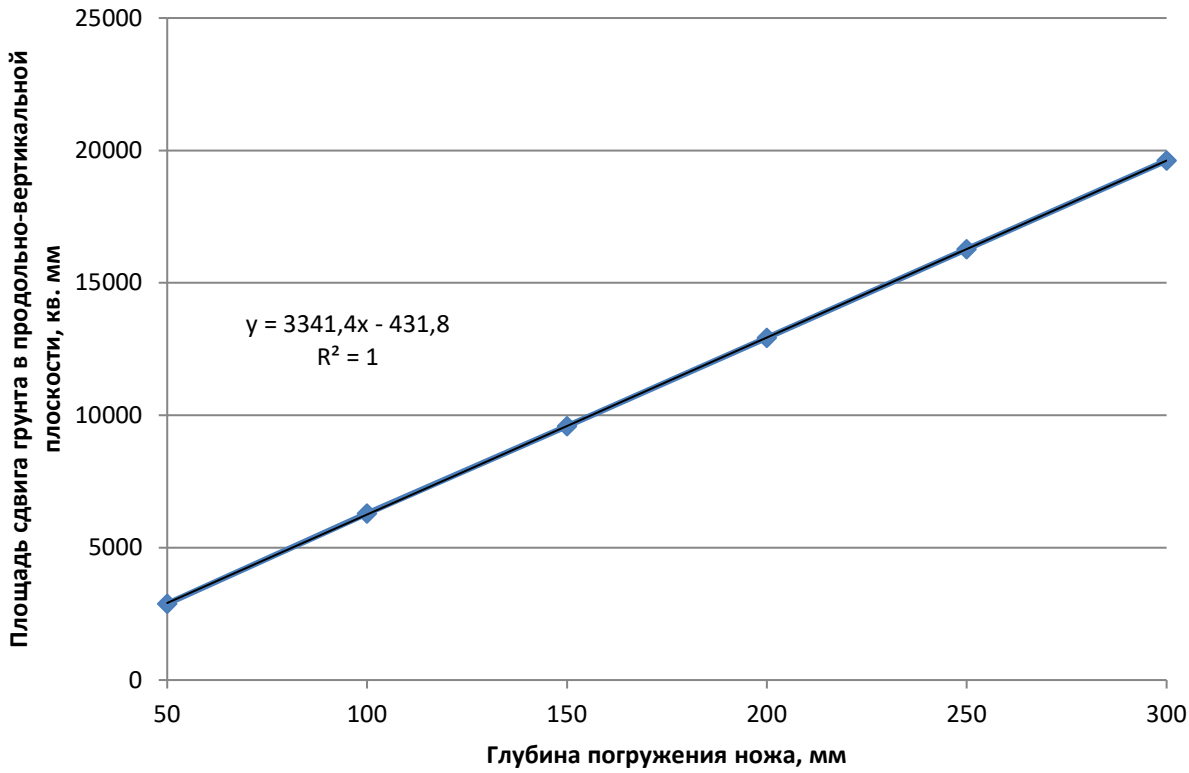


Рисунок 4 – Зависимость площади поверхности ABCH первичного сдвига грунта правой или левой кромкой ножа от заглубления ножа бульдозера
Источник: составлено автором.

Figure 4 – Dependence of the surface area for ABCH of the primary ground shift by the right or left edge of the knife on the deepening of the bulldozer knife
Source: compiled by the author.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

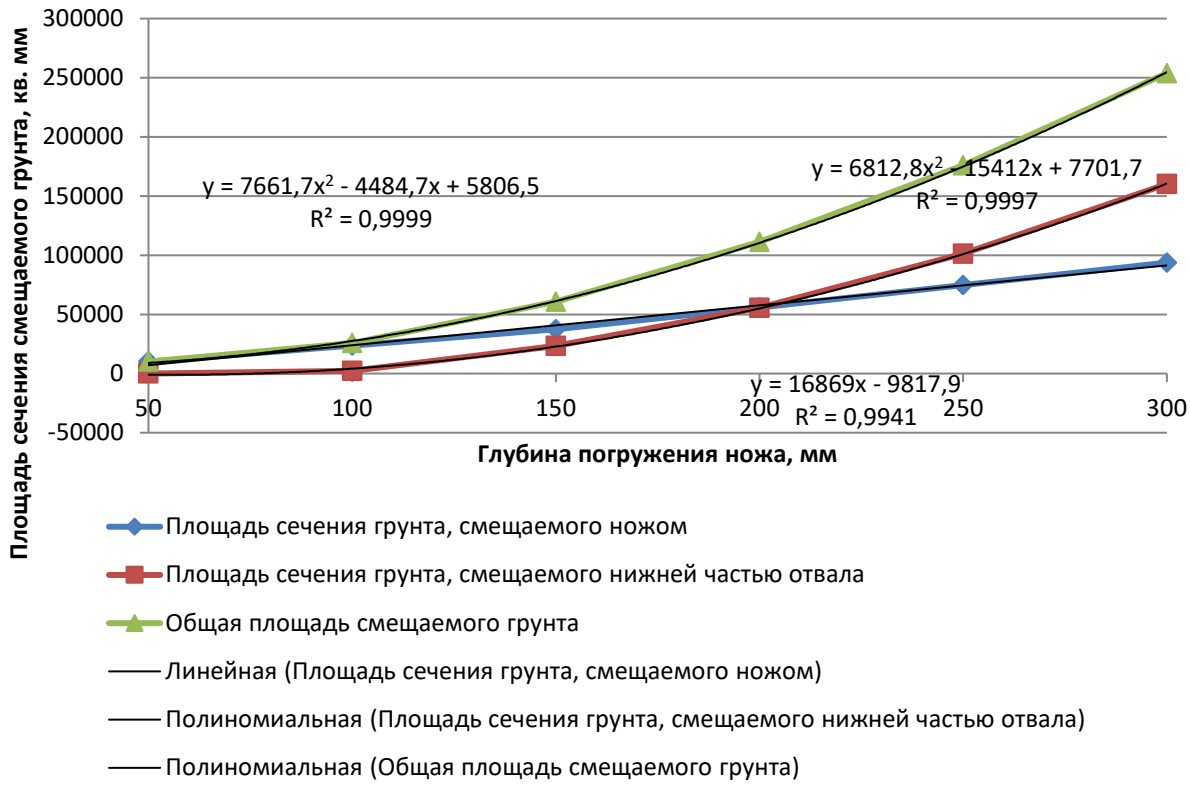


Рисунок 5 – Зависимость площади BCDE воздействия на грунт поверхности ножа, площади DEMN воздействия на грунт поверхности нижней части отвала и общей площади смещения первично сдвинутого грунта от заглубления ножа бульдозера
Источник: составлено автором.

Figure 5 – Dependence of the area for BCDE impact on the ground of the knife surface, the area of DEMN impact on the ground of the surface of the bottom blade and total area of displacement of the primary shifted soil from the depth of the bulldozer knife
Source: compiled by the author

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По мере увеличения глубины хода ножа бульдозера, площадь псевдосдвига грунта, площадь первичного сдвига грунта правой или левой кромкой ножа увеличиваются линейно. При этом площадь смещения первично сдвинутого грунта увеличивается по параболе:

$$S_{см}=7661,7a^2-4484,7a+5806,5.$$

Выявление площади псевдосдвига грунта, площади первичного сдвига грунта правой или левой кромкой ножа и площади смещения первично сдвинутого грунта позволит определить затраты энергии, необходимой для воздействия поверхности ножа и нижней части отвала на грунт, и модернизировать бульдозерное оборудование[4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

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

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

[4] Николаев В. А. Оборудование бульдозера. Патент РФ №2770854. Заявка №2021130731; зарегистрирована 20.10.2021; опубл. 22.04.2022; бюл. № 8.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

21. Пархоменко Г. Г., Пархоменко С. Г. Силовой анализ механизмов перемещения рабочих органов почвообрабатывающих машин по заданной траектории // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 1. С. 47–54.

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

23. Николаев В. А. Машины для обработки почвы. Теория и расчёт / В. А. Николаев. Ярославль: Изд-во ФГБОУ ВПО ЯГСХА, 2014. 358 с.

REFERENCES

1. Karasjov G. N. Opredelenie sily rezanija grunta s uchjotom uprugih deformacij pri razrushenii [Definition of the cutting force of soil considering elastic deformation at fracture]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2008; 4: 36-42. (in Russ.)

2. Karnauhov A. I., Orlovskij S. N. Opredelenie zatrat udel'noj jenergii na process rezanija lesnyh pochv torcevymi frezami [Costing of specific energy on the cutting process of forest soils end mills]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2010; 1:20-22. (in Russ.)

3. Kravec I. M. Opredelenie kriticheskoj glubiny rezanija pri kombinirovannom rezanii gruntov gidrofrezoj [Determine critical cutting depth when combined cutting soils gidrofrezoj]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2010; 5: 47-49. (in Russ.)

4. Kirillov F. F. Determinirovannaja matematicheskaja model' vremennogo raspredelenija tjagovogo usilija dlja mnogorezcovyh rabochih organov zemlerojnyh mashin [Deterministic mathematical model of the temporal distribution of traction for mnogorezcovyh working bodies of earthmoving machines] *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2010; 11: 44-48. (in Russ.)

5. Berestov E. I. Vlijanie trenija grunta po poverhnosti nozha na soprotivlenie rezaniju [Influence of friction of soil on the surface of the knife cutting resistance]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2010; 11: 34-38. (in Russ.)

6. Vershinin A. V., Zubov V. S., Tjul'nev A. M. Povyshenie jeffektivnosti diskofrezernyh rabochih mehanizmov dlja razrabotki mjorzlyh gruntov [Improving the efficiency of the working mechanisms for the development of diskofrezernyh mjorzlyh soil]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2012; 8: 42-44. (in Russ.)

7. Balovnev V. I., Nguen Z. Sh. Opredelenie soprotivlenij pri razrabotke gruntov ryhlitelem po integral'nomu pokazatelju prochnosti [Identification of resistances when designing primers Ripper by a combined indicator of strength]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2005; 3: 38-40. (in Russ.)

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

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

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

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

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

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

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

14. Balovnev V. I., Danilov R. G., Ulitich O. Ju. Issledovanie upravljaemyh nozhevyh sistem zemlerojno-transportnyh mashin [Study of guided knife systems of ground-moving vehicles]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2017; 2: 12-15. (in Russ.)

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

16. Chmil' V. P. Nasosno-akkumuljativnyj privod ryhlitelja s avtomaticheskim vyborom ugla rezanija. [Pump-accumulating ripper drive with automatic cutting angle selection]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2016; 11: 18-20. (in Russ.)

17. Kabashev R. A., Turgumbaev S. J. Experimental research of the process of digging soil rotary-disk working bodies under hydrostatic pressure. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2016;(4(50)):23-28. (In Russ.)

18. Semkin D. S. About influence of speed working bodies of digging machines on the resistance force of soil cutting. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017;(1(53)):37-43. (In Russ.) https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-1(53)-37-43

19. Konstantinov Ju. V. Metodika raschjota soprotivlenija i momenta soprotivlenija rezaniju pochvy prjamym plastinchatym nozhom frezy [The method of calculating resistance and the moment of resistance to soil cutting with a straight plate cutter knife]. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2019; 5: 31-39. (In Russ.)

20. Syromjatnikov Ju. N., Hramov I. S., Vojnash S. A. Gibkij jelement v sostave rabochih organov rotornoj pochvoobrabatyvajushhej ryhlitel'no-separirujushhej mashiny [Flexible element in the working organs of the rotary soil processing loosening and separating machine]. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2018; 5: 32-39. (In Russ.)

21. Parhomenko G. G., Parhomenko S. G. Silovoj analiz mehanizmov peremeshhenija rabochih organov pochvoobrabatyvajushhih mashin po zadannoj traektorii [Power analysis of the mechanisms of movement of working bodies of soil processing machines on a given trajectory]. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2018; 1: 47-54. (In Russ.)

22. Dranjaev S. B., Chatkin M. N., Korjavin S. M. Modelirovanie raboty vintovogo G-obraznogo nozha pochvoobrabatyvajushhej frezy [Simulation of the work of a screw G-shaped knife soil cutter]. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2017; 7: 13-19. (In Russ.)

23. Nikolaev V. A. *Mashiny dlja obrabotki pochvy. Teorija i raschjot* [Soil processing machines. Theory and calculation]. 2014:358. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Николаев Владимир Анатольевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Строительные и дорожные машины».

AUTHOR INFORMATION

Vladimir A. Nikolayev. Dr. of Sci., Professor of the Construction and Road Machinery Department

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

РАЗДЕЛ II.
ТРАНСПОРТ

PART II.
TRANSPORT

УДК 656.13
DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-344-357
EDN: HUYYKH
Научная статья

Check for updates

РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО АНКЕТИРОВАНИЮ ПАССАЖИРОВ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА РЕГУЛЯРНОГО СООБЩЕНИЯ

***С. А. Аземша*[1]*, *В. М. Морозов*[2]**
[1]Белорусский государственный университет транспорта,
г. Гомель, Республика Беларусь
[2]КУП «Горэлектротранспорт»,
г. Гомель, Республика Беларусь
s-azemsha@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-9368-8910
vitaliy.m.morozov@icloud.com, https://orcid.org/0000-0001-7571-8867
**ответственный автор*

АННОТАЦИЯ

Введение. *Транспорт в жизни современных городов играет значительную роль в части формирования транспортных систем, тем самым влияя на экологию, качество жизни людей, их здоровье, безопасность дорожного движения и т. д.*
Знания о существующих особенностях функционирования городского пассажирского транспорта регулярного сообщения позволит осуществить управление работой этой системы, повысить ее привлекательность и привлечь дополнительных пассажиров. Получить такие знания представляется возможным опросом пользователей системы – пассажиров. Транспортные опросы во всем мире получили широкое распространение для разработки мероприятий по совершенствованию работы транспорта, а также оценки их эффективности.
В данной статье приводится анализ нормативных документов, регламентирующих проведение транспортных опросов, а также научной литературы, в том числе зарубежной, описывающих как проведение, так и результаты таких опросов. Актуальность темы обусловлена необходимостью обобщения опыта проведения транспортных опросов и реализации полученной квинтэссенции при анкетировании пассажиров в Республики Беларусь. Решаемые задачи:
– анализ законодательства Республики Беларусь по тематике исследования;
– анализ опыта проведения транспортных обследований за рубежом;
– разработка общих рекомендаций к структуре, содержанию и способу осуществления транспортного опроса;
– разработка и размещение анкеты для заполнения пользователями.
Цель работы – разработка структуры, содержания и метода проведения транспортного опроса пассажиров в городах Республики Беларусь с учетом действующего законодательства страны и опыта осуществления подобных мероприятий в зарубежных странах.
Научная новизна заключается в использовании методов анализа научных публикаций по тематике исследования и на этой основе синтеза с участием экспертов структуры и содержания транспортного опроса для городов Республики Беларусь с учетом требования законодательства в этой сфере.
Материалы и методы. *При написании статьи осуществлялся анализ публикаций по тематике проведения транспортных опросов и экспертным методом с участием заинтересованных сторон, синтезировалась анкета такого опроса для условий Республики Беларусь.*
Использовались следующие научные методы: анализ и синтез.
Результаты. *По результатам статьи разработана структура транспортного опроса и способы его проведения для условий Республики Беларусь.*
Обсуждение и заключение. *Полученная структура транспортного опроса и способ его проведения соответствуют условиям функционирования городского пассажирского транспорта Республики Беларусь и позволяют получить исходную информацию для обоснования путей дальнейшего развития данного вида транспорта.*

© Аземша С. А., Морозов В. М., 2022

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *пассажир, транспорт, личный автомобиль, анкетирование, опрос, поездка, автобус, троллейбус, качество перевозки, COVID-19.*

Статья поступила в редакцию 18.04.2022; одобрена после рецензирования 08.06.2022; принята к публикации 10.06.2022.
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: Аземша С. А., Морозов В. М. Разработка предложений по анкетированию пассажиров городского пассажирского транспорта регулярного сообщения // *Вестник СибАДИ.* 2022. Т.19, № 3 (85). С. 344-358. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-344-357

DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-344-357
EDN: HUYYKH
Original article

DEVELOPMENT OF PROPOSALS ON PASSENGER QUESTIONNAIRES FOR REGULAR URBAN PASSENGER TRANSPORT

Sergei A. Azemsha[1*], Vitalii M. Morozov[2]
[1]Belarusian State University of Transport,
Gomel, Republic of Belarus
[2]KUP Gorelectrotransport,
Gomel, Republic of Belarus
s-azemsha@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-9368-8910
vitaliy.m.morozov@icloud.com, https://orcid.org/0000-0001-7571-8867
**corresponding author*

ABSTRACT

Introduction. *Public transport in the life of modern cities plays a significant role in the formation of urban transport systems, thereby affecting the environment, the quality of people's life, their health, road safety, etc.*
Knowledge of the existing features of public transport functioning will allow for competent intervention in the operation of this system, increase its attractiveness and attract additional passengers. It is possible to obtain such knowledge by polling system users – passengers. Transport surveys around the world are widely used to develop measures to improve the operation of transport, as well as to evaluate their effectiveness.
This article provides an analysis of the regulatory documents governing the conduct of transport surveys, as well as scientific literature, including foreign ones, describing both the conduct and results of such surveys. The relevance of the topic is due to the need to generalize the experience of conducting transport surveys and the implementation of the obtained quintessence when questioning passengers in the Republic of Belarus. Tasks to be solved:
– analysis of the legislation of the Republic of Belarus on the subject of the study;
– analysis of the experience of conducting transport surveys abroad;
– development of general recommendations for the structure, content and method of carrying out a transport survey;
– development and placement of a questionnaire for users to fill out.
The purpose of the work is to develop the structure, content and method of conducting a transport survey of passengers in the cities of the Republic of Belarus, taking into account the current legislation of the country and the experience of implementing such events in foreign countries.
Scientific novelty lies in the use of scientific methods of analysis and synthesis in the development of the structure and content of the transport survey.
Materials and methods. *When writing the article, analysis and synthesis scientific methods were used.*
Results. *Based on the results of the article, the structure of the transport survey and methods for conducting it for the conditions of the Republic of Belarus were developed.*
Discussion and Conclusions. *The obtained structure of the transport survey and the method of its conduct correspond to the conditions for the functioning of the urban passenger transport of the Republic of Belarus and allow obtaining initial information to substantiate the ways of further development of this type of transport.*

© Azemsha S. A., Morozov V. M., 2022

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

KEYWORDS: *passenger, public transport, personal car, questionnaire, survey, trip, bus, trolleybus, transportation quality, COVID-19.*

The article was submitted 18.04.2022; approved after reviewing 08.06.2022; accepted for publication 10.06.2022.
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: Azemsha S. A., Marozau V. M. Development of proposals on passenger questionnaires for regular urban passenger transport // *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (3): 344-357. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-344-357

ВВЕДЕНИЕ

Задача снижения количества и интенсивности использования личных легковых автомобилей довольно продолжительное время стоит на политической повестке дня многих стран из-за негативного воздействия автомобилизации на окружающую среду, человека и его здоровье [1, 2, 3]. Достигается такое снижение посредством того, что водители начинают использовать более экологичные, экономичные и безопасные способы передвижения, как правило пассажирский транспорт регулярного сообщения. За последние годы проведено много научных исследований, целью которых является установление факторов, влияющих на выбор вида транспорта для поездок. Многие из этих исследований были сосредоточены на влиянии мер так называемой мягкой транспортной политики. Их цель – переориентировать владельцев автомобилей использовать для передвижения иной вид транспорта. При этом цель достигается только путем убеждений и предоставления информации об экологически безопасных альтернативах, в первую очередь об услугах общественного транспорта [4, 5]. В то же время доказано, что если существующий уровень обслуживания на общественном транспорте не может конкурировать с автомобилем, то эффективность такой мягкой транспортной политики для уменьшения использования личных автомобилей ограничена [6, 7]. Следовательно, чтобы добиться более значительного сокращения количества автомобилей и частоты их использования, необходимо улучшать услуги общественного транспорта. Одним из способов повышения качества работы общественного пассажирского транспорта является опрос его пользователей – пассажиров. Обзор практик проведения таких опросов с целью разработки структуры и содержания транспортной анкеты обуславливает актуальность тематики публикации.

Важность общественного транспорта и необходимость смещения транспортного спроса в сторону повышения интенсивности использования этого вида перевозок поднимают вопрос о том, какие улучшения в его работе привлекательны для пользователей автомобилей, и которые поспособствуют их переходу на пассажирский транспорт регулярного сообщения. Одним из способов получения ответа на этот и другие вопросы может стать опрос (анкетирование) пользователей как индивидуальных автомобилей, так и общественного пассажирского транспорта регулярного сообщения. Вопросам анкетирования посвящено много научных трудов. Целью работы данной работы является разработка структуры, содержания и метода проведения транспортного опроса пассажиров в городах Республики Беларусь с учетом действующего законодательства страны и опыта осуществления подобных мероприятий в зарубежных странах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Разработка содержания анкеты для проведения транспортных опросов в городах Республики Беларусь включала в себя следующие этапы:

1. Поиск отечественной и зарубежной литературы по транспортному анкетированию населения.
2. Изучение требований технических нормативных правовых актов Республики Беларусь в сфере транспортного анкетирования.
3. Анализ содержания и результатов проведенных транспортных опросов.
4. Обсуждение результатов анализа с заинтересованными сторонами.
5. Разработка перечня вопросов для транспортного анкетирования в городах Республики Беларусь и выбор способа осуществления опроса.
6. Реализация опроса в Google Form и размещение анкеты в Internet.

В работе [6] авторы оценивали передвижения различными способами (городской пассажирский транспорт регулярного сообщения, личный автомобиль) и с различными

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

параметрами (время в пути, время ожидания автобуса, доступность остановочного пункта) посредством расчета трех характеристик:

1. Шкала удовлетворенности путешествием. Она включает как аффективные, так и когнитивные компоненты, связанные с повседневными путешествиями. Аффективные элементы были выбраны на основе двух измерений (валентность и активация), оцененных шкалой настроения [7] и полученных из сетки аффектов [8]. Конечные точки каждой шкалы определяются как комбинации валентных и активационных размеров. Баллы по каждой шкале варьировались от -4 до +4. В ходе опроса участников просили использовать шкалы для оценки своего путешествия в течение дня. Достоверность оценивалась по общей суммированной шкале.

2. Шкала настроения. Она оценивает пережитые в течение дня настроения [9]. Использовалось три шкалы от приятного до неприятного.

3. Шкала удовлетворенности жизнью [10], модифицированная для расчета удовлетворённости в течение дня. Мера была построена путем усреднения оценок по шкале от 1 (не согласен) до 7 (полностью согласен) степени согласия со следующими пятью утверждениями:

– во многих отношениях моя сегодняшняя жизнь была близка к моему идеалу;

– условия моей жизни сегодня оказались превосходными;

– сегодня я был доволен своей жизнью;

– сегодня я добился того, чего хотел;

– если бы я мог повторить этот день снова, я бы почти ничего не изменил.

Результаты обследования позволили сделать следующие выводы:

– удовлетворенность путешествием всегда выше при поездке на автомобиле, чем для поездки на автобусе. Для поездок на автобусе удовлетворенность путешествием уменьшается с ростом времени в пути и уменьшением доступности автобусных остановок;

– шкала настроения наиболее высока при кратковременных поездках на автомобилях, а также на автобусе при высокой доступности остановочных пунктов;

– шкала удовлетворенности жизнью выше при поездках на автомобиле, чем в автобусе. При поездке в автобусе она уменьшается с увеличением временем в пути и ухудшением доступности автобусных остановок.

Имеются работы, в которых произведено определение некоторых показателей качества городского общественного транспорта (ценовая доступность и количество перевозок) на основе проведения интернет-анкетирования населения. Анкеты содержали вопросы о количестве поездок в день на общественном транспорте и количестве пересадок.[1]

В статье [11] приведены результаты анкетирования пассажиров льготных категорий для определения качества перевозок общественным пассажирским транспортом в г. Владивостоке. Респондентом предлагалось оценить по 10-балльной шкале удовлетворенность по следующим показателям:

1. Чистота в салоне.
2. Внешний вид и вежливость водителя.
3. Температура в салоне.
4. Скорость перевозки.
5. Регулярность.
6. Способы оплаты.
7. Информативность.
8. Безопасность перевозки.

Также в опросе у респондентов спрашивали, какой из показателей они считают самым значимым.

В работе [12] определены:

– необходимый социальный эффект от функционирования городского пассажирского транспорта;

– затраты, которые необходимо произвести для его обеспечения;

– доходы, которые будут получены при заданном уровне обслуживания населения города (региона).

При определении этих показателей учтены интересы всех участников рынка пассажирских перевозок (муниципалитетов, собственников частных автотранспортных предприятий и пассажиров). В рамках разработанной методики предлагается определять социальный эффект от функционирования городского транспорта через уровень качества транспортного обслуживания пассажиров. При расчете уровня качества транспортного обслуживания населения региона авторы учитывали следующие показатели и факторы:

[1] Совершенствование методов определения качественных показателей пассажирских перевозок / А. В. Кулев, Д. О. Ломакин, М. В. Кулев [и др.] // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VI Международной научно-практической конференции, Орёл, 20 мая 2020 года / Под общей редакцией А. Н. Новикова. Орёл: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2020. С. 81–86.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

1. Суммарные затраты времени на поездку. На этот локальный показатель оказывает воздействие ряд факторов:

– плотность маршрутной сети – определяется как отношение суммарной протяженности улиц и дорог, по которым проходят маршруты городского пассажирского автомобильного транспорта, к площади города (региона);

– частота движения – определяется как отношение количества передвижений транспорта по определенному маршруту за определенный интервал времени;

– среднее количество пересадок, приходящихся на одну поездку.

2. Комфортность условий во время поездки. Значение этого показателя зависит от значений следующих факторов:

– степень наполнения салона транспортного средства – определяется как количество пассажиров на 1 м2 площади салона транспортного средства;

– среднее количество пересадок, приходящихся на одну поездку.

3. Безопасность. Для оценки степени безопасности движения применялись два фактора:

– экологическая безопасность – определяется как доля городского пассажирского транспорта в общих выбросах в атмосферу загрязняющих веществ;

– аварийная безопасность движения – оценивается по уровню ДТП по вине транспорта, в том числе со смертельным исходом на 1 000 000 пассажиров.

4. Ритмичность движения городского общественного транспорта. В качестве критериев оценки использовались следующие факторы:

– регулярность движения – рассчитывается как отношение фактического количества выполненных рейсов к количеству рейсов по расписанию;

– частота движения общественного транспорта – определяется как отношение количества передвижений транспорта по определенному маршруту за определенный интервал времени.

5. Стоимостной показатель – определяется как доля уровня тарифов на городском общественном транспорте по отношению к прожиточному минимуму.

Часть из этих факторов определялась авторами методом анкетирования.

В работе [13] представлены результаты исследования восприятия качества транспортной услуги пассажирами московского метро, оцененного анкетированием пассажиров. Для классификации пассажиров применялся кластерный анализ (метод k-средних), в результате которого было определено 2 кластера, характеризующихся различной степенью удовлетворенности, определен профиль каждого кластера, выявлены статистически значимые различия по социально-демографическим и поведенческим признакам респондентов, относящихся к различным кластерам. Кластеризация проводилась на основании оценок качества по 5-балльной шкале следующих характеристик транспортных услуг:

– частота движения поездов;

– время покупки билетов в кассах;

– время входа в метро (отсутствие очередей на входе):

– количество пассажиров в метро;

– ощущение безопасности на станции;

– работа интернета:

– навигация;

– удобство, оборудование, внешний вид вагонов поезда;

– доступность пересадки па другие виды транспорта.

Важность общественного транспорта в жизни горожан подтверждается в [14]. В этой работе приведены результаты опроса жителей Санкт-Петербурга с целью выявления их мнения об актуальности сервисов «умного города». Его результаты показывают, что транспорт – одна из сфер, в которой жители наиболее заинтересованы (рисунок).

Целью исследований [15, 16] является выявление общественного взгляда на оказываемые транспортные услуги в г. Нижний Новгород. Для достижения этой цели авторы использовали анкетирование. Среди заданных респондентам вопросов были:

– возраст;

– род занятий (студент, работающий, безработный, пенсионер);

– каким способом вы передвигаетесь: больше на личном транспорте, больше на общественном транспорте, примерно одинаково на личном и на общественном;

– делаете ли вы пересадки с одного маршрута на другой при поездках на общественном транспорте;

– сколько времени затрачивается на подход к остановке отправления, на ожидание транспорта, на поездку, на отход от остановки назначения;

– сколько поездок в неделю делается на общественном транспорте;

– насколько комфортно пассажиры чувствуют себя в общественном транспорте;

– насколько безопасно пассажиры чувствуют себя в общественном транспорте;

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

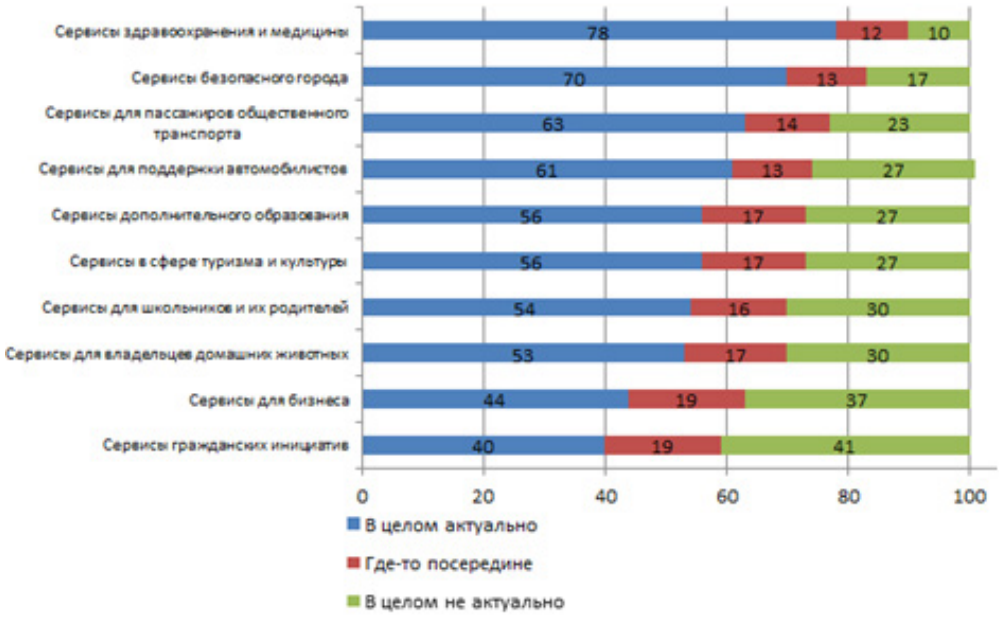


Рисунок – Распределение ответов на вопрос: «В какой степени появление следующих электронных сервисов было бы актуально и полезно лично для Вас?» [15, с. 99]

Figure – Distribution of answers to the question: To what extent would the emergence of the following electronic services be relevant and useful for you personally? [17, p. 99]

– предложения по улучшению работы общественного транспорта (новый персонал, новые автобусы, увеличить число маршрутов);

– как часто сталкиваются пассажиры с пробками на дорогах при проезде в общественном транспорте;

– удовлетворены ли интервалами движения общественного транспорта;

– как часто используется каждый вид общественного транспорта? (не пользуюсь, 1 раз в неделю, 2-3 раза в неделю, 4-5 раз в неделю).

Также в этом исследовании проводилась оценка общественного транспорта по пятибалльной системе по следующим параметрам:

– доступность (достаточное количество единиц транспорта, информативность, ценовая политика);

– результативность (экономия времени, финансов и сил);

– надежность (уровень обслуживания, безопасность на дорогах);

– удобство пользования (наполненность транспорта, соответствие нормам комфорта);

– регулярность движения;

– фактическое время в пути;

– предпочитаемый способ оплаты за проезд;

– используются ли приложения для отслеживания транспорта (просмотра расписания его движения).

В работе [17] анкетирование использовалось для оценки возможных направлений действия по повышению безопасности дорожного движения.

В статье [18] изложены подходы к формированию системы показателей качества обслуживания наземным транспортом общего пользования в Москве на основе сопоставления ожиданий потребителей и существующих характеристик транспортного обслуживания. Предложенная методика создания саморегулируемой системы совершенствования качества транспортного обслуживания на основе маркетингового подхода, структура системы показателей оценки качества обслуживания пассажиров, базовые значения субъективных показателей качества на основе оценки ожидаемого и воспринимаемого качества обслуживания могут являться основой стандарта транспортного обслуживания наземным транспортом общего пользования. Реализуя маркетинговый подход к оценке качества транспортного обслуживания, авторы выделили следующие основные особенности:

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

1. Для пассажира наиболее важным параметром (после самой базовой услуги – перевозки) является физическая доступность транспорта и время для того, чтобы дойти до остановочного пункта. Вероятно, что потребительская оценка воспринимаемого качества и удовлетворенности в значительной степени будет определяться параметрами доступности.

2. Для транспортных услуг немаловажным фактором является также воспринимаемая статусность совершения поездки на легковом автомобиле.

3. Сами пассажиры, их поведение, соблюдение (или несоблюдение) правил и этических норм являются важными факторами, влияющими на воспринимаемое качество и удовлетворенность транспортными услугами.

Также авторы отмечают немаловажность включения в анкеты вопроса, связанного с пожеланиями пассажиров.

В работе [19] отмечено, что анкетный метод позволяет получать наиболее обширную и полную информацию для изучения не только пассажиропотоков, но и социальной структуры пассажиров, степени удовлетворения спроса населения на транспортные услуги, оценки качества транспортного обслуживания пассажиров, затратах населения на транспорт и иных вопросов. Авторы отмечают, что наибольший эффект анкетное обследование даёт при опросе населения по месту работы или учёбы основных пассажиро образующих и пассажиро поглощающих пунктов (с подключением администрации предприятия или учебного заведения) обслуживаемого района. Также авторы уделяют внимание расчету репрезентативного объема выборки.

Имеется работа, в которой анализируется эффективность городского пассажирского транспорта на примере г. Орла с точки зрения оценок горожан. Авторы производили такую оценку по анализу ответов на вопросы, приведенные в таблице 1.

Оценка показателей производилась по пятибалльной шкале (1 балл – неудовлетворительно, 2 балла – плохо, 3 балла – удовлетворительно, 4 балла – хорошо, 5 баллов – отлично), либо выбирался нужный вариант ответа из предложенных. Отдельный интерес представляют варианты ответа на шестой и седьмой вопросы.

1. Пожелания о вместимости подвижного состава:

– увеличение количества подвижного состава;

– перепланировка сидений;

– оборудование сидениями для пассажиров с детьми;

– использование второй двери;

– увеличение вместимости транспортного средства.

2. Предложения по улучшению качества транспортного обслуживания:

– проведение проверок и аттестаций;

– использование «тайного пассажира» для проверки качества предоставляемых транспортных услуг населению;

– создание специальной службы мониторинга и контроля деятельности перевозчиков;

– оснащение троллейбусов и трамваем системой ГЛОНАСС;

– создание отдельной полосы движения для общественного транспорта;

– чистота салона и транспортного средства;

– мониторинг соответствия расписанию движения;

– повышение квалификации водителей вежливость/соблюдение ПДД;

– запретить водителям курение и использование телефона;

– распределять транспорт с учетом пассажиропотока в утренние и вечерние часы;

– обновление автопарка;

– соответствие цен предоставляемым транспортным услугам;

– снижение цены за проезд;

– наполнять транспортное средство согласно его вместимости;

– введение карт оплаты проезда;

– увеличение время работы общественного пассажирского транспорта.

Есть работа в которой рассмотрены вопросы оценки эффективности транспортного обслуживания населения с применением информационных технологий. Сформулированы вопросы для проведения онлайн-анкетирования. Перечень таких вопросов приведен в таблице 2.

Авторы предложили также использовать возможности google для реализации удаленного автоматического анкетирования путем использования GoogleForms.

В работе [20] произведена оценка удовлетворенности жителей Осло различными способами передвижения. Чтобы измерить удовлетворение от поездок респонденты оценивали свою последнюю поездку на работу по трем вопросам:

– чувствовали ли они себя напряженными или спокойными;

– чувствовали ли они себя уставшими или возбужденными;

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

– переживали или чувствовали себя уверенно.

Вопросы были структурированы по шкале из семи шагов, варьирующейся от -3 до 3, со следующим утверждением: «Во время вашей последней поездки на работу вы чувствовали стресс / спокойствие? Если вы были в стрессе, выберите -3. Если вы не испытывали ни стресса, ни спокойствия, выберите 0. Если вы были спокойны, выберите 3». Далее авторы при помощи ANOVA-тестов и T-тестов сравнивали среднюю удовлетворенность поездками различными способами, а также различными видами общественного транспорта. Результаты такого сравнения показали:

1. Средний уровень удовлетворения передвижений посредством различных способов составил [20, таблица 3]:

– 1,8358 – при движении пешком;

– 1,8346 – при движении на личном автомобиле;

– 1,2667 – при движении на велосипеде;

– 1,0360 – при движении на общественном транспорте.

Видно, что пассажирский транспорт регулярного сообщения по степени удовлетворенности находится на последнем месте.

2. Удовлетворенность пользователей пассажирского транспорта регулярного сообщения по его видам составляет [20, таблица 4]:

– 1,5068 – при движении на пароме;

– 1,1316 – при движении на метро;

– 1,0855 – при движении на трамвае;

– 0,9482 – при движении на автобусе;

– 0,9480 – при движении на поезде.

Таблица 1

Анкета качества обслуживания пассажиров г. Орла[1]

Table 1

Questionnaire for the quality of passenger service in the city of Orel[2]

1. Состояние подвижного состава	
1.1. Внешнее техническое состояние транспортных средств	баллов
1.2. Чистота салона транспортных средств	баллов
1.3. Состояние пассажирских сидений	баллов
1.4. Часто ли отсутствует освещение в салонах?	Да / Нет
1.5. Доступность информации в салонах транспортных средств о маршруте и перевозчике, наличие билетов	баллов
2. Культура обслуживания	
2.1. Вежливость водителей в отношении с пассажирами	баллов
2.2. Курят ли водители маршрута в салоне маршрутного транспортного средства?	Да / Нет
2.3. Часто ли водители позволяют себе включать громкую музыку?	Да / Нет
3. Профессионализм работы водителей	
3.1. Безопасность совершаемых маневров, плавность хода в движении	баллов
3.2. Соблюдение правил при посадке и высадке пассажиров на остановочных пунктах, оцените комфорт посадки и высадки	баллов
3.3. Часто ли водители разговаривают по телефону без применения специальных устройств «свободные руки»?	Да / Нет
4. Качество работы	
4.1. Соблюдение режима работы (время начала и окончания) маршрута	баллов
4.2. Часто ли на маршруте не соблюдается схема движения?	Да / Нет
5. Оцените комфортность поездки, связанной с превышением допустимой вместительности подвижных составов	баллов
6. Ваши пожелания о вместимости подвижного состава на маршруте	
7. Ваши предложения по улучшению качества транспортного обслуживания	

[1] Мельникова А. Ю. Городской пассажирский транспорт в общественном мнении горожан города Орла / А. Ю. Мельникова // Наука вчера, сегодня, завтра: Материалы научно-практической конференции, Воронеж, 05–09 сентября 2016 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2016. С. 338–345.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

В работе [21] представлен обзор существующих методов анализа выявленных и заявленных предпочтений пассажиров общественного транспорта, а также результаты некоторых предыдущих опросов, проведенных в Гюре (Венгрия). Затем авторами предлагается новый метод определения предпочтений пассажиров путем интеграции сбора данных в онлайн-службу планирования поездок.

Авторы утверждают, что при оценке конкретной поездки пассажиры учитывают ряд факторов: время в пути, время ожидания, условия ожидания, расстояния подхода до и от остановки, количество пересадок, уровень загруженности в салоне, скорость перевозки и другие различные аспекты, связанные с комфортом. У разных групп пассажиров (студенты, рабочие, пенсионеры и т. д.) могут быть разные предпочтения. Такие аспекты можно сравнивать друг с другом, если выразить их в одних и тех же единицах измерения. Возможный способ добиться этого – использовать обобщенное время в пути, которое представляет собой сумму физического времени в пути и временных «штрафов», вызванных неудобными аспектами (например, пересадками, заторами). Обобщенное время в пути предлагается определять по формуле

$$T_j = t_j + \sum_a v_a Pl, a,$$

где T_j – обобщенное время поездки j;

t_j – физическое время путешествия j;

v_a – количественное значение аспекта a (например, уровень наполнения салона);

pl, a – штрафное значение аспекта a для пассажиров группы l.

Размер штрафа для разных групп (слоев) пассажиров определяется с помощью методов предпочтения на основе опроса пассажиров. Полученные результаты авторы предлагают использовать в работе размещаемых в Internet планировщиков путешествий.

Таблица 2
Вопросы анкеты[1]

Table 2
Questionnaire questions[3]

Показатель качества перевозок	Вопрос анкеты
Комфортность поездки	1. Удовлетворены ли Вы комфортабельностью перевозок? 2. Удовлетворены ли Вы чистотой транспортного средства? 3.Имеются ли технические средства для пассажиров с ограниченными возможностями? 4. Устраивает ли Вас уровень комфортности салона подвижного состава (сиденья, температура, освещенность, шум)? 5. Устраивает ли Вас поведение кондуктора и водителя? 6. Удовлетворены ли Вы наполнением салона в часы пик?
Доступность (временной показатель)	1. Удовлетворены ли Вы рабочим режимом автобуса? 2. Соблюдается ли на Ваш взгляд расписание движения? 3. Долго ли Вы обычно ждете автобус?
Безопасность поездки	1. Соблюдаются ли, на Ваш взгляд, правила дорожного движения? 2. Удовлетворяет ли Вас безопасность салона? 3. Были ли Вы свидетелем поломки автобуса на данном маршруте?
Информационный показатель	1. Испытываете ли Вы затруднения в получение информации о маршруте? 2. Доступна ли Вам информация о расписании данного маршрута?
Экономический показатель	1. Устраивает ли Вас форма оплаты проезда? 2. Удовлетворены ли Вы системой социальных гарантий (льгот) на данном маршруте? 3. Положительно ли Вы оцениваете стоимость перевозок?
Ранжирование показателей	1. Проранжируйте показатели качества транспортных услуг по степени важности для Вас

[1] Оценка эффективности транспортного обслуживания населения на основе информационных технологий / С. Е. Горенкова, А. А. Ставцева, М. Ю. Милина [и др.] // Молодежь и наука: шаг к успеху: Сборник научных статей III Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 21–22 марта 2019 года / Юго-Западный государственный университет, Московский политехнический университет. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2019. С. 150–153.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Отдельно стоит отразить специфику современности – эпидемию коронавирус COVID-19. Очевидно, что эта эпидемия накладывает определенный отпечаток на работу общественного транспорта, что заключается в смене поведения пассажиров (необходимость держать дистанцию), наличии определенных страхов заразиться в общественном транспорте и т. д. Так, работа [22] направлена на изучение превентивного поведения, связанного с COVID-19, включая ношение масок и соблюдение физической дистанции между пассажирами автобусов и мер общественного такси для оценки систем вентиляции в этих транспортных средствах. Это исследование было проведено с участием 753 пассажиров автобусов и такси в Тебризе, на северо-западе Ирана, с 15 февраля по 1 марта 2021 года. Результаты данного исследования показали, что женщины-пассажиры использовали маски значительно чаще, чем мужчины. Около 40% мужчин и женщин не соблюдали физическую дистанцию не менее одного метра в системе общественного транспорта. Несоблюдение социальной дистанции чаще всего наблюдалось у лиц с низким социальным статусом. Учитывая, что социальное дистанцирование в меньшей степени соблюдается в системе общественного транспорта в Тебризе (Иран), авторы рекомендуют правительству рассмотреть и контролировать рекомендации по защите пассажиров от заражения COVID-19 путем принятия мер по поддержанию физической дистанции в системах общественного транспорта. Владельцев транспортных средств, которые не соблюдают санитарные протоколы, можно заставить держаться на расстоянии, налагая штрафы.

В работе [23] оценивалось влияние мобильности населения на заболеваемость коронавирусной инфекцией. Было установлено, что количество случаев коронавируса положительно коррелирует с количеством использования общественного транспорта. Кроме того, было получено, что 56,3% движений в ежедневных случаях коронавируса объясняются движениями в ежедневном использовании общественного транспорта. Модель, описывающая влияние мобильности на заболеваемость коронавирусом, имеет вид: ln (DCC) = 2,48 + 0,02*PTU, где DCC – число ежедневных случаев заболевания коронавирусом; PTU – транспортная подвижность населения, т. е. при увеличении общественного транспорта на 1 ед. ежедневные случаи заболевания коронавирусом увеличиваются на 0,02 ед. в логарифмическом выражении. В то же время авторы отмечают невозможность нормального функционирования экономики и жизни общества без общественного транспорта. Поэтому они предлагают ряд мер: нормирование максимального уровня наполняемости общественного транспорта, поощрение удаленной занятости, смещение начала (окончания) работы предприятий.

В работе [24] отмечено, что в системе общественного транспорта приходится преодолевать множество проблем, связанных с COVID-19. Одной из них является прогнозирование транспортного поведения горожан после пандемии: продолжат ли они использовать транспорт регулярного сообщения или перейдут к поездкам на личных автомобилях. Авторы провели опрос среди людей, регулярно пользующихся системой общественного транспорта. Краткий опрос был заполнен 681 респондентом из Индии. По результатам опроса установлено, что большинство респондентов предпочли бы путешествовать на своем транспортном средстве, а не на общественном транспорте. Кроме того, меньший процент людей (такси – 7,6%, метро – 14,24%, маршрутки – 16,67%, другие – 9,29%), которые готовы продолжить пользоваться тем же видом транспорта, в то время как остальные готовы добираться до работы на собственном транспорте. Также установлено, что все такие меры как принуждение к ношению масок, использование дезинфицирующих средств перед входом в транспорт, использование приложения Aarogya Setu, принуждение к ношению перчаток и ограниченное количество разрешений на пункты общественного питания, работающих на станциях, приветствуются людьми.

В Республике Беларусь информация о проведении анкетирования пассажиров общественного транспорта в открытых источниках практически отсутствует. Есть информация[2] о том, что в 2018 г. в Новополоцке было проведено подобное анкетирование, но информации о его результатах не представлена. В то же время нормативами закреплена методика проектирования сетей пассажирского общественного транспорта и форма опросной ан-

[2] Режим доступа: http://novinclusion.by/mobility/anketirovanie-zhitelej-novopolocka (дата обращения: 01.04.2022)

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

кеты как способа получения исходных данных для такого проектирования[3]. Анкета содержит информацию о роде занятости респондента, наличии автомобиля, информации о поездках за предыдущий опросу будний и выходной дни. Такое содержимое анкеты позволит определить направления транспортной подвижности населения и ее распределение по часам суток и дням недели, что может послужить основой для оптимизации маршрутной сети и расписания движения общественного транспорта. В то же время такие вопросы не дают возможность оценить влияние параметров общественного транспорта на восприимчивость его услуг пользователями, что не позволяет разрабатывать мероприятия по смещению транспортного спроса с индивидуального легкового автомобиля в сторону общественного транспорта.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В данной статье отмечена важность общественного транспорта в жизни городов, качестве жизни граждан и в связи с этим – необходимость смещения транспортного спроса с использования личного автомобиля к поездкам на общественном транспорте. Глубокий анализ литературы по данной проблеме показал, что для этих целей в мире широко используются меры так называемой мягкой транспортной политики, заключающиеся в доведении информации о преимуществах поездки на общественном транспорте по сравнению с личным автомобилем. Также многие авторы отмечают необходимость параллельной с мягкой транспортной политикой реализации мер, направленных на повышение конкурентоспособности общественного транспорта. Причем перечень таких мер формируется путем проведения анкетирования пользователей как пассажиров общественного транспорта, так и водителей личных автомобилей.

Анализ литературы по вопросам проведения транспортных опросов показал, что их содержание зависит от целей анкетирования. Тут выделяются следующие укрупненные цели:

– оценить удовлетворенность от поездки, в том числе в зависимости от способа ее осуществления;

– установить взаимосвязь между способом осуществления передвижения и настроением, а также удовлетворенностью жизнью;

– определить показатели качества обслуживания пассажиров;

– рассчитать затраты на функционирование общественного пассажирского транспорта и его доходы;

– определить общественное мнение по оказываемым населениям транспортным услугам;

– установить меры по повышению безопасности дорожного движения;

– изучить особенности поведения пассажиров во время пандемии COVID-19;

– установить зависимость между мобильностью населения и заболеваемостью COVID-19;

– определить влияние пандемии COVID-19 на выбор способа передвижения.

Также было установлено, что анкетирования по способу проведения могут быть реализованы путем применения бумажных опросников или посредством размещения электронных анкет в сети Internet.

Особенности функционирования общественного пассажирского транспорта регулярного сообщения в Республике Беларусь заключаются в регулярном сокращении финансирования на его работу при необходимости сохранения (улучшения) качества оказываемых услуг и объема выполняемой транспортной работы. Для решения этих задач произведено обсуждение сделанного анализа литературы по тематике транспортного опроса с представителями перевозчиков, пассажиров и органов местного управления и самоуправления. По результатам такого обсуждения была разработана анкета для опроса пассажиров с учетом мнения сторон, принимавших участие в обсуждении, а также действующего законодательства Республики Беларусь. Это позволило выделить следующие необходимые разделы анкет:

1. Общие сведения о респонденте: пол, возраст, род занятости, доходы, наличие автомобиля.

2. Сведения о передвижениях за предыдущий анкетированию будний и выходной день в соответствии с действующими нормативами.

3. Сведения о состоянии общественных пассажирских транспортных средств: внешний вид, чистота снаружи, чистота салона.

[3] Проектирование сетей городского пассажирского транспорта. ПЗ-01 к СНБ 3.03.02-97. Издание официальное. Утверждено Приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 29 октября 2001 г. № 547. Зарегистрировано Главным управлением строительной науки и нормативов Минстрой архитектуры Республики Беларусь за № 171 от 29 октября 2001 г. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. Минск. 2002.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

4. Информация о работе обслуживающего персонала: профессионализм, вежливость, безопасность вождения.

5. Сведения о качестве работы: частота движения, скорость доставки, доступность остановочных пунктов, комфорт, наполняемость.

6. Мнение по поводу того, какой из показателей самый важный.

7. Пожелания как пользователей общественного транспорта, так и личных легковых автомобилей: новые маршруты, повышение скорости, увеличение частоты и т. д.

8. Мнения пассажиров по работе общественного транспорта в период пандемии.

Для повышения комфорта заполнения анкет, автоматизации набора данных принято решение о целесообразности использования при этом средств GoogleForm.

Также обсуждение с заинтересованными сторонами позволило получить конкретный перечень вопросов. Данная транспортная анкета создана в Google Form и размещена для реализации опроса в сети Internet[4].

Минимальный объем выборки ($P_п$), обеспечивающий ее достаточную репрезентативность (соответствие характеристик выборочного наблюдения показателям, характеризующим всю генеральную совокупность) по доле в генеральной совокупности, можно определить по формуле

$$P_п = \frac{t^2 w(1-w)}{\Delta^2}\Gamma \ , \qquad (1)$$

где $P_п$ – минимальный объем репрезентативной выборки (численность населения, подлежащего обследованию);

Δ – предельно допустимая ошибка репрезентативности выборки. Принимается в размере от 2 до 5 пунктов. При этом чем больше объем генеральной совокупности, тем выше может быть размер предельно допустимой ошибки;

t – кратность ошибки репрезентативности выборки, *t* = 1,96;

w – выборочная доля распределения исследуемого признака в выборке, *w* = 0,5.

Γ – размер генеральной совокупности (население города).

Тогда для условий г. Гомеля минимальный объем выборки будет равен.

$$P_п = \frac{1{,}96^2 \cdot 0{,}5(1-0{,}5)}{5^2} \cdot 520000 = 19976 .$$

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье приведен анализ и обобщение научных и нормативных документов, описывающих проведение транспортных опросов, содержание анкет и способов оценки мнения респондентов, разработаны предложения по структуре и содержанию анкет для их проведения в условиях Республики Беларусь. На основе таких предложений разработана и размещена в сети Internet анкета транспортного опроса для жителей второго по численности города Республики Беларусь – города Гомеля. Ссылки на такую анкету размещены в виде QR-кода в салонах пассажирского транспорта регулярного сообщения этого города. Для охвата граждан, не пользующихся общественным транспортом регулярного сообщения, в местном периодическом издании вышла тематическая статья, в которой также были размещены ссылки на анкету.

Дальнейшие направления исследований в данной области видятся в обработке и интерпретации результатов транспортного опроса и разработке на его основе предложений по развитию общественного пассажирского транспорта регулярного сообщения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hensher, D. A. (1998). The imbalance between car and public transport use in urban Australia: Why does it exist? Transport Policy, 5, 193–204.

2. Richter, J., Friman, M., & Gdrling, T. (2010). Review of Implementations of soft transport policy measures. Transportation: Theory and Application, 2, 5–18.), (Taniguchi, A., &Fujii, S. (2007).

3. Promoting public transport using marketing techniques in mobility management and verifying their quantitative effects. Transportation, 34, 37–49.

4. Beale, J. R., &Bonsall, P. W. (2007). Marketing in the bus industry: A psychological interpretation of some attitudinal and behavioural outcomes. Transportation Research Part F, 10, 271–287.

5. Brög, W., Erl, E., Ker, I., Ryle, J., & Wall, R. (2009). Evaluation of voluntary travel behaviour change: Experiences from three continents. Transport Policy, 16, 281–292.)

6. Ettema, Dick &Gärling, Tommy & Eriksson, Lars &Friman, Margareta & Olsson, Lars &Fujii, Satoshi. (2011). Satisfaction with travel and subjective well-being: Development and test of a measurement tool. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. 14. 167-175. 10.1016/j.trf.2010.11.002.

7. Västfjäll, D., Friman, M., Gärling, T., &Kleiner, M. (2002). The measurement of core affect: A Swedish self-report measure. Scandinavian Journal of Psychology,43, 19–31

[4] Режим доступа: https://forms.gle/hy4hHxwUFRQhqyGv9 (дата обращения 01.04.2022)

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

8. Russell, J. A. (2003). Core affect and the psychological construction of emotion. Psychological Review, 110, 145–172.

9. Västfjäll, D., &Gärling, T. (2007). Validation of a Swedish short self-report measure of core affect. Scandinavian Journ.al of Psychology, 48, 233–238

10. Pavot, W., &Diener, E. (1993). Review of the satisfaction with life scale. PsychologicalAssessment, 5, 164–172.

11. Ильина И. О. Оценка качества обслуживания льготных категорий граждан общественным пассажирским транспортом в г. Владивостоке / И. О. Ильина, О. А. Широкорад // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2018. Т. 1. С. 59–63.

12. Терентьев А. С. Метод экономической оценки качества обслуживания населения пассажирским транспортом / А. С. Терентьев, Г. К. Рембалович, А. В. Шемякин [и др.] // Транспортное дело России. 2019. № 5. С. 111–113.

13. Мхитарян С. В. Применение кластерного анализа для исследования неоднородности восприятия качества транспортной услуги пассажирами Московского метро / С. В. Мхитарян, Л. А. Данченок // Приложение математики в экономических и технических исследованиях. 2018. № 1(8). С. 44–48.

14. Белый В. А. Внедрение электронных государственных сервисов в экономико-демографических условиях пандемии COVID-19: результаты опроса граждан в Санкт-Петербурге / В. А. Белый, П. В. Смирнова, А. В. Чугунов // International Journal of Open Information Technologies. 2020. Т. 8. № 11. С. 97–109.

15. Исследование уровня удовлетворенности общественным транспортом жителей Нижнего Новгорода / С. М. Мальцева, Е. П. Гуреева, В. В. Мартысевич, А. С. Смирнова // Актуальные проблемы современного транспорта. 2020. № 1. С. 100–108.

16. Булганина С. В. Варианты и критерии выбора общественного транспорта / С. В. Булганина, В. В. Хазанова, Н. А. Миронов, К. А. Никитина // Актуальные проблемы современного транспорта. 2020. № 1. С. 50–56.

17. Абдульзянов А. Р. Взаимодействие участников дорожного движения в рамках социального пространства города (теоретико-методологический анализ) / А. Р. Абдульзянов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. 2017. № 4(44). С. 115–126. DOI 10.21685/2072-3016-2017-4-13.

18. Сагинова О. В. Методологические аспекты управления качеством транспортного обслуживания / О. В. Сагинова, И. В. Спирин, Н. Б. Завьялова, Р. Р. Сидорчук // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2016. Т. 7. № 2(26). С. 28–37. DOI 10.18184/2079-4665.2016.7.2.28.37.

19. Костяков А. Н. Применение анкетного метода обследования пассажиропотоков в городе Чите / А. Н. Костяков, Е. В. Григорьева // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: Сборник статей, Чита, 27–30 ноября 2017 года. Чита: Забайкальский государственный университет, 2017. С. 124–129.

20. Erik Bjørnson Lunke, Commuters' satisfaction with public transport // Journal of Transport & Health https://doi.org/10.1016/j.jth.2020.100842

21. Winkler, Ágoston. (2010). Collecting public transport passenger preference data online. Pollack Periodica. 5. 119-126. 10.1556/Pollack.5.2010.2.12.

22. Aghdam, Fatemeh & Sadeghi-Bazargani, Homayoun & Shahsavarinia, Kavous & Jafari, Fatemeh & Jahangiry, Leila & Gilani, Neda. (2021). Investigating the COVID-19 related behaviors in the public transport system. Archives of Public Health. 79. 183. 10.1186/s13690-021-00702-4.

23. Toker, Д°pek & Aydin, Sila & Aydin, Burak & DaДџlar, Mehmet & Gulseven, Osman. (2020). Impact of Public Transportation Usage on Coronavirus Cases. 10.13140/RG.2.2.23520.30722/1.

24. Meena, Mukesh & Sharma, Megha. (2020). The effect of covid-19 on public transportation. JIMS8M: The Journal of Indian Management & Strategy. 25. 53-59. 10.5958/0973-9343.2020.00033.2.

REFERENCES

1. Hensher D. A. The imbalance between car and public transport use in urban Australia: Why does it exist? Transport Policy. 1998; 5: 193–204.

2. Richter, J., Friman, M., & Gärling, T. (2010). Review of Implementations of soft transport policy measures. Transportation: Theory and Application, 2, 5–18.), (Taniguchi, A., & Fujii, S. (2007).

3. Promoting public transport using marketing techniques in mobility management and verifying their quantitative effects. Transportation, 34, 37–49.

4. Beale, J. R., & Bonsall, P. W. (2007). Marketing in the bus industry: A psychological interpretation of some attitudinal and behavioral outcomes. Transportation Research Part F. 2007; 10: 271–287.

5. Brög, W., Erl, E., Ker, I., Ryle, J., & Wall, R. (2009). Evaluation of voluntary travel behavior change: Experiences from three continents. Transport Policy, 16, 281–292.

6. Ettema, Dick & Gärling, Tommy & Eriksson, Lars & Friman, Margareta & Olsson, Lars & Fujii, Satoshi. (2011). Satisfaction with travel and subjective well-being: Development and test of a measurement tool. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior. 14. 167-175. 10.1016/j.trf.2010.11.002.

7. Västfjäll, D., Friman, M., Gärling, T., & Kleiner, M. (2002). The measurement of core affect: A Swedish self-report measure. Scandinavian Journal of Psychology,43, 19–31

8. Russell, J. A. (2003). Core affect and the psychological construction of emotion. Psychological Review, 110, 145–172.

9. Västfjäll, D., & Gärling, T. (2007). Validation of a Swedish short self-report measure of core affect. Scandinavian Journal of Psychology, 48, 233–238

10. Pavot, W., & Diener, E. (1993). Review of the satisfaction with life scale. Psychological Assessment, 5, 164–172.

11. Il'ina I. O., Shirokorad O. A. Ocenka kachestva obsluzhivanija l'gotnyh kategorij grazhdan obshhestvennym passazhirskim transportom v g. Vladivostoke [Evaluation of the quality of service for privileged categories of citizens by public passenger transport in Vlad-

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ivostok]. *Nauchno-tehnicheskoe i jekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke*. 2018; T. 1: 59-63. (in Russ.)

12. Terent'ev A. S., Rembalovich G. K., Shemjakin A. V. Metod jekonomicheskoj ocenki kachestva obsluzhivanija naselenija passazhirskim transportom [Method of economic assessment of the quality of public service by passenger transport]. *Transportnoe delo Rossii*. 2019; 5:111-113. (in Russ.)

13. Mhitarjan S. V., Danchenok L. A. Primenenie klasternogo analiza dlja issledovanija neodnorodnosti vosprijatija kachestva transportnoj uslugi passazhirami Moskovskogo metro [Application of cluster analysis to study the heterogeneity of the perception of the quality of transport services by passengers of the Moscow metro]. *Prilozhenie matematiki v jekonomicheskih i tehnicheskih issledovanijah*. 2018; 1(8): 44-48. (in Russ.)

14. Belyj V. A., Smirnova P. V., Chugunov A. V. Vnedrenie jelektronnyh gosudarstvennyh servisov v jekonomiko-demograficheskih uslovijah pandemii COVID-19: rezul'taty oprosa grazhdan v Sankt-Peterburge [Implementation of electronic public services in the economic and demographic conditions of the COVID-19 pandemic: results of a survey of citizens in St. Petersburg]. *International Journal of Open Information Technologies*. 2020; T. 8. № 11:97-109. (in Russ.)

15. Mal'ceva S. M., Gureeva E. P., Martysevich V. V., Smirnova A. S. Issledovanie urovnja udovletvorennosti obshhestvennym transportom zhitelej Nizhnego Novgoroda [The study of the level of satisfaction with public transport residents of Nizhny Novgorod]. *Aktual'nye problemy sovremennogo transporta*. 2020; 1:100-108. (in Russ.)

16. Bulganina S. V., Hazanova V. V., Mironov N. A., Nikitina K. A. Varianty i kriterii vybora obshhestvennogo transporta [Variants and criteria for choosing public transport]. *Aktual'nye problemy sovremennogo transporta*. 2020; 1:50-56. (in Russ.)

17. Abdul'zjanov A. R. Vzaimodejstvie uchastnikov dorozhnogo dvizhenija v ramkah social'nogo prostranstva goroda (teoretiko-metodologicheskij analiz) [Interaction of road users within the social space of the city (theoretical and methodological analysis)]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Obshhestvennye nauki*. 2017: 4(44): 115-126. DOI 10.21685/2072-3016-2017-4-13. (in Russ.)

18. Saginova O. V., Spirin I. V., Zav'jalova N. B., Sidorchuk R. R. Metodologicheskie aspekty upravlenija kachestvom transportnogo obsluzhivanija [Methodological aspects of transport service quality management]. *MIR (Modernizacija. Innovacii. Razvitie)*. 2016; T. 7. № 2(26): 28-37. DOI 10.18184/2079-4665.2016.7.2.28.37. (in Russ.)

19. Kostjakov A. N., Grigor'eva E. V. Primenenie anketnogo metoda obsledovanija passazhiropotokov v gorode Chite [Application of the questionnaire method for surveying passenger traffic in the city of Chita]. *Kulaginskie chtenija: tehnika i tehnologii proizvodstvennyh processov: Sbornik statej*, Chita, 27–30 nojabrja 2017 goda. Chita: Zabajkal'skij gosudarstvennyj universitet, 2017:124-129. (in Russ.)

20. Erik Bjørnson Lunke, Commuters' satisfaction with public transport. *Journal of Transport & Health* https://doi.org/10.1016/j.jth.2020.100842

21. Winkler, Agoston. Collecting public transport passenger preference data online. *Pollack Periodica*. 2010. 5. 119-126. 10.1556/Pollack.5.2010.2.12.

22. Aghdam, Fatemeh & Sadeghi-Bazargani, Homayoun & Shahsavarinia, Kavous & Jafari, Fatemeh & Jahangiry, Leila & Gilani, Neda. Investigating the COVID-19 related behaviors in the public transport system. *Archives of Public Health*. 2021. 79.183.10.1186/s13690-021-00702-4.

23. Toker, D°pek & Aydin, Sila & Aydin, Burak & Daßlar, Mehmet & Gulseven, Osman. *Impact of Public Transportation Usage on Coronavirus Cases*. 2020. 10.13140/RG.2.2.23520.30722/1.

24. Meena, Mukesh & Sharma, Megha. The effect of covid-19 on public transportation. *JIMS8M: The Journal of Indian Management & Strategy*. 2020. 25.53-59. 10.5958/0973-9343.2020.00033.2.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Аземша С. А. Постановка цели и задачи исследований, подбор литературы, изучение и анализ зарубежного опыта проведения транспортных опросов и оценки их результатов. Анализ результатов полученных данных, их обобщение и обоснование выводов. Выявление актуальных вопросов и рекомендаций для дальнейшей проработки темы и реализации транспортного обследования населения в Республике Беларусь.

Морозов В. М. Подбор русскоязычной литературы по теме исследования, ее изучение и анализ. Анализ законодательства и опыта проведения транспортных опросов в Республике Беларусь.

COAUTHOR'S CONTRIBUTION

Sergei A. Azemsha. Setting the goal and objectives of research, selection of literature, study and analysis of foreign experience in conducting transport surveys and evaluating their results. Analysis of the results of the obtained data, their generalization and substantiation of the conclusions. Identification of topical issues and recommendations for further development of the topic and implementation of the transport survey of the population in the Republic of Belarus.

Vitalii M. Morozov. Selection of Russian-language literature on the research topic, its study and analysis. Analysis of legislation and experience in conducting transport surveys in the Republic of Belarus.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Аземша Сергей Александрович – канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Управление автомобильными перевозками и дорожным движением».

Морозов Виталий Михайлович – директор коммунального унитарного предприятия «Горэлектротранспорт».

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Sergei A. Azemsha – Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Road Transport and Traffic Management Department.

Vitalii M. Morozov – Director of Gorelectrotransport municipal unitary enterprise.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

УДК 656.13
DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-358-369
EDN: XMRZLI
Научная статья

Check for updates

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕВОЗОК АВТОМОБИЛЯМИ ОГРАНИЧЕННЫХ ОТПРАВОК УГЛЯ В ГОРОДЕ

Е. Е. Витвицкий[1]*, Н. И. Юрьева[1], Г. О. Тажигулова[2], С. Г. Курымбаев[2], П. У. Байгожина[2]
[1]Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск, Россия
[2]Карагандинский университет им. академика Е. А. Букетова, г. Караганда, Казахстан
vitvitsky_ee@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-0155-8941,
yureva_ni@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1224-020X,
19gt@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7026-3947,
sakura3874@mail.ruhttps://orcid.org/0000-0002-1822-792X,
nurali_safia@mail.ru,https://orcid.org/0000-0002-8583-3292
**ответственный автор*

АННОТАЦИЯ

Введение. *В экономике государств одной из постоянных задач остается обеспечение насущных потребностей населения в осенне-зимний период в городах и населенных пунктах, на первый план ставится задача обеспечения топливом (углем) домохозяйств. Спрос на уголь ограничен платежеспособностью и распределен на весь период отрицательных температур воздуха. Отсюда запас угля на период отопления жилищ формируется во многих случаях путем закупки партий угля, представляющих долю от общей потребности в указанный период. Цель настоящей работы – нахождение обоснованных ответов по применению технологий перевозок ограниченных отправок грузов в городах.*

Материалы и методы. *Решение задачи было выполнено в рамках оперативного планирования перевозки ограниченных отправок угля для населения по территории города на основе концепции подхода к построению общей теории функционирования автотранспортных систем перевозок грузов (АТСПГ) с применением нормативного подхода при расчете затрат на перевозку, дескриптивных моделей работы автомобиля в микро- и развозочной АТСПГ.*

Результаты. *Путем математического моделирования получены обоснованные величины оперативных планов перевозки ограниченных отправок угля в городах помашинной технологией и «развозкой». Нормативный подход к расчету затрат – актуализированная на дату расчета электронная база данных отрасли автомобильного транспорта. Программно-математическое обеспечение по расчету затрат на перевозку грузов в составе моделей микро и особо малой автотранспортных систем позволили достоверно определить плановые величины затрат на перевозку помашинной технологией и «развозкой».*

Обсуждение и заключение. *Установлено преимущество применения «развозочной» технологии в рассматриваемых условиях – при перевозке угля автомобильным транспортом на примере города.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *уголь, городское сообщение, грузовые автомобильные перевозки, план перевозок грузов, технология перевозок, затраты на перевозку.*

Статья поступила в редакцию 10.03.2022; одобрена после рецензирования 19.04.2022; принята к публикации 10.06.2022.
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: Витвицкий Е. Е. Обоснование технологии перевозок автомобилями ограниченных отправок угля в городе/ Е. Е. Витвицкий, Н. И. Юрьева, Г. О. Тажигулова, С. Г. Курымбаев, П. У. Байгожина // *Вестник СибАДИ.* 2022. Т.19, № 3(85). С. 358-369. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-358-369

© Витвицкий Е. Е., Юрьева Н. И., Тажигулова Г. О., Курымбаев С. Г., Байгожина П. У., 2022

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-358-369
EDN: XMRZLI
Original article

JUSTIFICATION FOR AUTOMOBILE TRANSPORTATION TECHNOLOGY OF LIMITED COAL SHIPMENTS IN THE CITY

Evgeny E. Vitvitsky[1*], Natalya I. Yurieva[1], Gulmira O. Tazhigulova[2], Sayat G. Kurymbaev[2], Perizal U. Baigozhina[2]
[1]Siberian Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia
[2]Karaganda University named after Academician E. A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan
vitvitsky_ee@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-0155-8941,
yureva_ni@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-1224-020X,
19gt@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7026-3947,
sakura3874@mail.ru https://orcid.org/0000-0002-1822-792X,
nurali_safia@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8583-3292
**corresponding author*

ABSTRACT

Introduction. *In the economy of states, one of the constant tasks remains to ensure the urgent needs of the population, in an autumn-winter period in cities and settlements, the task of providing fuel (coal) to households is highlighted. The demand for coal is limited by solvency and distributed over the entire period of negative air temperatures. Hence, the supply of coal for the period of heating of dwellings is formed, in many cases, by purchasing lots of coal, representing a share of the total demand during the specified period. The purpose of this work is to find reasonable answers on the use of transportation technologies for limited shipments of goods in cities.*
Materials and methods. *The solution to the problem was carried out within the framework of operational planning for the transportation of limited shipments of coal for the population throughout the city on the basis of the concept of an approach to building a general theory of truck systems functioning for motor transport shipping network, using a regulatory approach when calculating transportation costs, descriptive models of the car's operation in micro- and delivery motor transport shipping network.*
Results. *Through mathematical modelling, reasonable values of operational plans for the transportation of limited shipments of coal in cities by machine technology and delivery were obtained. Regulatory approach to cost calculation, electronic database of road transport industry updated at the date of calculation. Software and mathematical support for calculating the costs of cargo transportation as part of models of micro and especially small motor transport systems made it possible to reliably determine the planned values of transportation costs by machine technology and delivery.*
Discussion and conclusion. *The advantage of using delivery technology in the conditions under consideration has been established, when transporting coal by road using the case of a city.*

KEYWORDS: *coal, city traffic, freight road transportation, cargo transportation plan, transportation technology, transportation costs.*

The article was submitted 10.03.2022; approved after reviewing 19.04.2022; accepted for publication 10.06.2022.
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: Vitvitsky E. E., Yuryeva N. I., Tazhigulova G. O., Kurymbaev S. G., Baigozhina P. U. Justification for automobile transportation technology of limited coal shipments in the city. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (3): 358-369. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-358-369

© Vitvitsky E. E., Yurieva N. I., Tazhigulova G. O., Kurymbaev S. G., Baigozhina P. U., 2022

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

ВВЕДЕНИЕ

Опыт решения задач планирования и организации перевозок грузов в городах показывает существенное количество их постановок, подходов и методик решения, критериев, результатов, методов и методик оценки полученных результатов. Многовариантность и многоаспектность задач грузовых автомобильных перевозок в городах обуславливает потребность в разработке некоторого множества решений, которые не являются окончательными во времени, и, как показывает практика, через какой-то период времени приходится вновь обращаться к известным, казалось бы, «классическим» достижениям теории, которые рассогласованы с практикой и через определенный период времени требуют пристального внимания и переоценки вплоть до наоборот. Так и вопрос перевозки угля автомобильным транспортом в городах в силу практической востребованности оказался на повестке дня. Определенным вкладом в развитие теоретических представлений по перевозке грузов автомобильным транспортом в городах являются работы научной школы СибАДИ (научный руководитель д-р техн. наук, проф. Е. Е. Витвицкий), где особенности математического моделирования автотранспортных систем перевозок грузов в городах с позиций массового обслуживания рассмотрены Е. С. Хорошиловой[1], обоснование применения технологии перевозок строительных грузов на радиальных маршрутах в городах изучали Ю. Д. Кабанец [1], ресурсосбережение при перевозках грузов автомобильным транспортом в городах – центральный момент внимания А. Х. Толебаевой[2], т. к. в отношении потребления транспортной продукции требуется разработка мер по ее экономии на стадии планирования перевозок, поскольку если перевозка совершена, то она одновременно потреблена. Совершенствование оперативного планирования при территориальном методе организации централизованных перевозок строительных грузов помашинными отправками в городах рассматривал С. С. Войтенков[3], определение выполнимых и невыполнимых в конкретных эксплуатационных условиях величин обязательств перевозчика по договору перевозки – задача работы Т. В. Самусовой[4], о наличии более или менее выгодных по критерию «прибыль» расстояниях перевозок грузов работа Э. Р. Айтбагиной[5], аспекты современной практики организации перевозок строительных грузов автомобильным транспортом в городе на примере ООО «ЗЖБИ № 7» освещены также в работе Э. Р. Айтбагиной[6], влияние случайного отклонения на результаты оперативного планирования перевозок грузов помашинными отправками в микро и особо малой автотранспортных системах изучали Н. В. Ловыгина, Н. Ф. Антипенко[7]. Созданием методики планирования работы «почасовых» грузовых автомобилей в городах

---

[1] Хорошилова Е. С., Витвицкий Е. Е. Математическое моделирование автотранспортных систем перевозок грузов в городах / X Международная IEEE научно-техническая X юбилейная конференция «Динамика систем, механизмов и машин» (Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines" (Dynamics)» // Сборник научных трудов № 1, том 3. Омск: ОмГТУ, 2016. С.375–380.

[2] Толебаева А. Х., Витвицкий Е. Е. Влияние маршрутизации перевозок грузов на ресурсосбережение и снижение вредного воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду / «Актуальные вопросы энергосбережения и новые технологии в науке и образовании Республики Казахстан»: // материалы Международной научно-практической конференции. Т.1. Петропавловск: СКГУ им. М. Козыбаева, 2014. 229 с.

[3] Войтенков С. С., Витвицкий Е. Е. Совершенствование оперативного планирования перевозок грузов помашинными отправками в городах: монография. Омск: СибАДИ, 2013. 174 с

[4] Самусова Т. В., Витвицкий Е. Е. Моделирование «гарантированности» перевозок грузов помашинными отправками автотранспортным средством в городах / X Международная IEEE научно-техническая X юбилейная конференция «Динамика систем, механизмов и машин» (Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines" (Dynamics)», Сборник научных трудов № 1, том 4. Омск: ОмГТУ, 2016. С.103–106.

[5] Айтбагина Э. Р., Витвицкий Е. Е. Некоторые результаты обзора теории грузовых автомобильных перевозок в городах // Евразийский союз ученых. 2016. № 29-2. 2016. С.87–91.

[6] Айтбагина Э. Р., Витвицкий Е .Е. Современная практика организации перевозок грузов автомобильным транспортом в городе на примере ООО «ЗЖБИ № 7» // Техника и технологии строительства. 2016. № 4 (8). С. 5–9.

[7] Ловыгина Н. В., Витвицкий Е. Е., Антипенко Н. Ф. Применение оперативного планирования процесса перевозок грузов помашинными отправками в микро и особо малой автотранспортных системах с учетом вероятностных факторов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2013. Т. 2, № 2. С. 324–328.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

и практических рекомендаций по ее применению занимались авторы К. П. Крылова[8]. Э. А. Клюев, С. С. Войтенков [2], обобщили практику работы автомобильного транспорта в рыночных условиях хозяйствования, что выявило отдельные недостатки и проблемы, но не определило пути решения возникших транспортных проблем в крупных городах. Повышение эффективности перевозок грузов в городах требует применения научно обоснованных решений в сфере управления, планирования и организации работы АТС на основе координации функционирования грузоотправителей, грузополучателей и автотранспортных организаций. На неравномерность работы автотранспортных средств при перевозке строительных грузов в городах обратила внимание Е. С. Федосеенкова[9], где предложила методику оперативного планирования перевозок грузов для ее учета. Сравнение результатов применения методов решения задачи оптимизации планирования перевозок грузов помашинными отправками в городах осуществлено в статье Р. Е. Шипицыной[10], совершенствование классификации автотранспортных систем перевозок грузов помашинными отправками в городах также отражено в работе Е. С. Федосеенковой[11], развитие метода организации централизованных перевозок строительных грузов в городах автомобильным транспортом, самостоятельно организовавшегося на практике, выполнено Э. Р. Айтбагиной[12]. Повышение эффективности перевозок хлеба и хлебопродуктов мелкими отправками в городах рассмотрено в статье М. А. Миргородского[13] за счет разработки методики выбора подвижного состава для автотранспортных систем с грузовыми центрами. Совершенствование методики планирования перевозок грузов помашинными отправками в городах при работе автомобиля на маятниковых и кольцевых маршрутах выполнено Т. В. Самусовой в работе[14]. Некоторые результаты обзора теории описания грузовых перевозок применительно к грузовому такси изучали Е. С. Галактионова, Д. С. Скворцова[15], которые отмечают, что в отечественных работах не удалось установить наличия публикаций, посвященных исследованиям в сфере перевозок грузов с использованием грузового такси, однако существует довольно значительный объем исследований, посвященный работе легковых таксомоторов. Поскольку принцип работы легковых и грузовых такси в общем одинаков (осуществляется адресный вызов транспортного средства к конкретному времени и совершается перевозка), то авторам представляется целесообразным изучение теоретических положений, связанных с работой легковых такси, с тем чтобы в дальнейшем изучить возможность их адаптации применительно к грузовым перевозкам.

[8] Крылова К. П., Витвицкий Е. Е. Разработка методики планирования работы «почасовых» грузовых автомобилей в городах: монография. Омск: Изд-во СибАДИ, 2018. 174 с.

[9] Федосеенкова Е. С., Витвицкий Е. Е. Неравномерность работы автотранспортных средств при перевозке строительных грузов в городах //Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2018. Т. 4. № 4. С. 82–88.

[10] Шипицына Р. Е., Витвицкий Е. Е. Сравнение результатов применения методов решения задачи оптимизации планирования перевозок грузов помашинными отправками в городах. В сборнике: Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции. Ижевск, 2021. С. 64–70.

[11] Федосеенкова Е. С., Витвицкий Е. Е. Совершенствование классификации автотранспортных систем перевозок грузов помашинными отправками в городах / В сборнике: Информационные технологии и инновации на транспорте Материалы VI-й Международной научно-практической конференции // Под редакцией А. Н. Новикова. 2019. С. 77–84.

[12] Айтбагина Э. Р., Витвицкий Е. Е. Развитие метода организации централизованных перевозок строительных грузов в городах автомобильным транспортом: монография. Омск: Изд-во СибАДИ, 2018. 150 с.

[13] Миргородский М. А., Витвицкий Е. Е. Методика выбора подвижного состава при перевозке грузов мелкими отправками в городах // Автотранспортное предприятие. 2009. № 6. С. 44–48.

[14] Самусова Т. В., Витвицкий Е. Е. Совершенствование методики планирования перевозок грузов автомобилем на маятниковых и кольцевых маршрутах // Вестник СГТУ. Саратов: СГТУ. Т. 3, № 1(76). 2014. С. 137–140.

[15] Галактионова Е. С., Скворцова Д. С. Некоторые результаты обзора теории описания грузовых перевозок применительно к «грузовому такси» / Сборник материалов III Национальной научно-практической конференции. Направление 2. Проблемы и перспективы развития транспортного комплекса, Омск СибАДИ, 2020. С.202–208.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

В опросы кадрового обеспечения логистических технологий затрагиваются в работе А. П. Варенова[16], влияние отсутствия стабильного функционирования улично-дорожной сети, внедрение инновационных технологий в ее развитие на планирование и организацию грузовых автомобильных перевозок в мегаполисах отражено в работе В. Г. Кочерги, В. В. Зырянова [3]. В статье Н. А. Атрохова, Д. Г. Мороза [4] предлагаются технологии перевозок мелких партий грузов как альтернативные классическим с целью обеспечения эффективной работы автотранспорта при доставке грузов заданным грузополучателям; классифицированы условия, при которых предпочтительнее применять предлагаемые альтернативные технологии перевозок мелких партий грузов с учетом нормативно-правовых ограничений на движение. Планирование транспортного процесса перевозки грузов в условиях города (на примере г. Харькова) изучали Е. И. Куш, А. С. Галкин, Н. А. Фиялко [5]. Инновационные концепты транспортного развития городов рассмотрены И. Н. Пугачёвым, Ю. И. Куликовым [6], в триаде «Безопасный город», «Умный город», «Комфортный город» в связи со стратегией пространственного развития страны и реализацией национальных проектов, предложенных президентом РФ с целью сбережения народа России, является повышение благополучия и качества жизни граждан, связанности городов и других населенных пунктов современными коммуникациями, а также возможности адаптации новых форм индивидуальной городской мобильности с целью удобства, охраны здоровья населения и окружающей среды в городском пространстве. Логистические решения в смарт-городах рассмотрели С. В. Дирко, И. С. Павлова [7], в частности они отмечают, что в развивающихся странах города испытывают насущную потребность в создании адекватной городской транспортной инфраструктуры, которая соответствовала бы растущим темпам урбанизации. Развитые страны зачастую сталкиваются с проблемой поддержания функциональности устаревших инфраструктур, от которых невозможно отказаться в силу стоимостных, территориальных и иных соображений. Современное состояние мелкопартионных перевозок и проблематику их совершенствования рассмотрели Н. В. Ярещенко, Я. Ю. Жирякова в работе [8], где дана общая характеристика проблем повышения эффективности мелкопартионных перевозок и актуальность их решения в современных условиях. Описана возможная методология решения проблемы и дальнейшие перспективы полученных результатов. Задача оптимизации грузовых потоков на автомобильном транспорте решалась С. В. Скирковским[17], рассмотрены практические и теоретические аспекты оптимизации. Проблемы транспортного образования раскрыл В. В. Нордин[18], где указал, что транспортные системы многих российских городов являются неэффективными, не соответствующими современным тенденциям «городов, удобных для жизни» и «устойчивой мобильности». Большинство проблем связано с нехваткой специалистов, способных решать сложные задачи транспортного планирования. Предлагается структура и содержание учебно-методического комплекса новой дисциплины, изучение которой в рамках некоторых направлений подготовки будет способствовать решению транспортных проблем городов. Проблемы транспортно-логистических систем городов и мероприятия по их решению изучили А. П. Грефенштейн, Е. Д. Псеровская[19]. В статье представлен обзор основных проблем транспортно-логистических систем городов. В работе Xiangyang, X., Gao, J., Cao, GY. etal[9] сформулированы принципы управления процессами перевозок в городах. Про-

[16] Варенов А. П. Системы и технологии перевозки грузов автомобильным транспортом: проблемы и перспективы развития. Транспортнісистеми та технології: проблеми та перспективирозвитку. ТезидоповідейРегіональноїнауково-практичноїконференціїсередстудентів, викладачів, науковців, молодихучених, аспірантів і учнів 12 квітня 2018 року. С.14–16.

[17] Скирковский С. В. Оптимизация грузовых потоков на автомобильном транспорте. Учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию / С. В. Скирковский; Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский государственный университет транспорта. Гомель: Белгут, 2007. 44 с. http://elib.bsut.by/bitstream/handle/123456789/1085/skirkovskiy_optimizaciya_gruz_potokov.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Свободный: 05.01.2022).

[18] Нордин В. В. О транспортном образовании // XIV Международная научно-практическая конференция «Прогрессивные технологии в транспортных системах» Калининградский государственный технический университет, Калининград, 2019. С.425–432.

[19] Грефенштейн А. П., Псеровская Е. Д. Проблемы транспортно-логистических систем городов и мероприятия по их решению // Материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «НАУКА И МОЛОДЕЖЬ». Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» (01-05 июня 2020 года, г. Барнаул). С.38–41.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

веден сравнительный анализ методов управления грузовыми перевозками за рубежом и в нашей стране. Результаты обзора позволяют констатировать, что вышеизложенные работы ученых не представляют исчерпывающей совокупности решений, тем не менее, они позволяют судить о разнообразии аспектов и сторон постановок и решений в грузовых автомобильных перевозках в городах. Некоторые результаты данных работ могут быть использованы и в настоящей статье.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Цель исследования – определить пределы применения помашинной и развозочной технологии при перевозке угля автомобильным транспортом на примере города.

Задачи:

1. Подготовить исходные данные.
2. Предложить методику решения.
3. Оценить выполнимость плана перевозок грузов.
4. Рассчитать затраты на перевозку угля.

Плановые результаты работы автомобиля (АТС) по перевозке угля на развозочном маршруте за оборот определены с использованием модели развозочной АТСПГ. В этом случае АТС выполнит: первый нулевой пробег ($L_{н1}$, погрузку, пробег с грузом на первом звене ($L_{г1}$), первую разгрузку, пробег с грузом на втором звене ($L_{г2}$), вторую разгрузку, холостой пробег ($L_{х}$). Расчёт технико-эксплуатационных показателей (ТЭП) проведен по формулам (1), (2), (3), (4), (5).

Длина маршрута

$$L_{м}=L_{г1}+L_{г2}+L_{х}. \quad (1)$$

Время оборота

$$t_o = \frac{L_{м}}{V_{т}} + t_{пр} + t_{з} \cdot (\mathrm{P}-1), \quad (2)$$

$V_{т}$ – средняя техническая скорость, км/ч;

$t_{пр}$ – время простоя под погрузкой и разгрузкой, ч;

$t_{з}$ – время заезда, ч;

P – количество пунктов разгрузки на развозочном маршруте.

Выработка в тонно-километрах за оборот

$$P_{т\cdot км}=Q_1\cdot L_{г1}+Q_2\cdot L_{г2}, \quad (3)$$

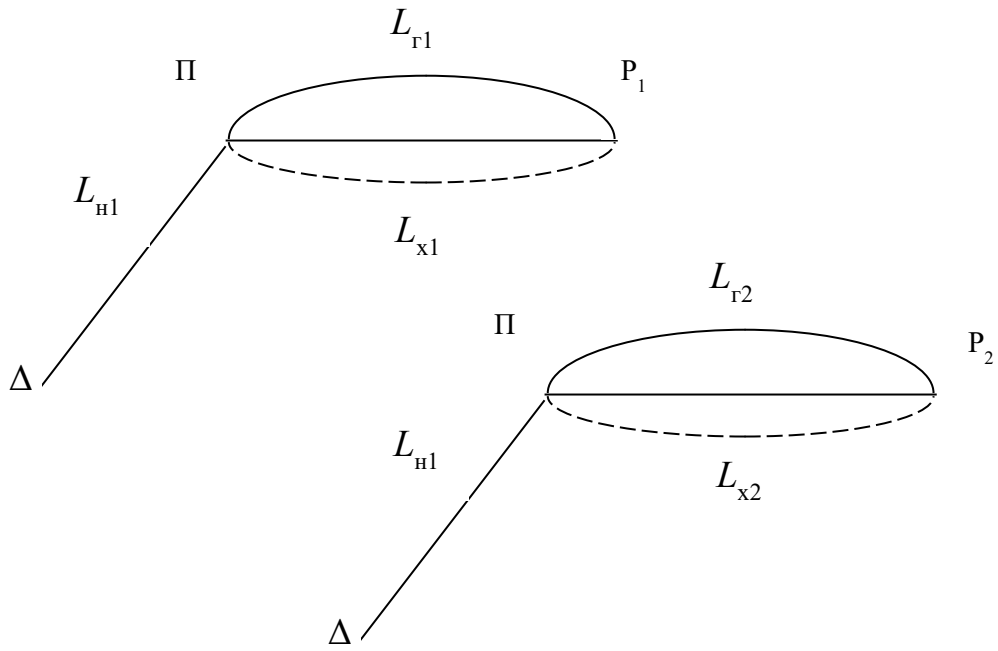


Рисунок – Маятниковые маршруты и нулевые пробеги (второй нулевой равен Lx1 (2)Lн1), Δ – место стоянки
Источник: составлено авторами.

Figure – Pendulum routes and zero runs (the second zero is equal to Lx1 (2) + Ln1), Δ – parking place
Source: Compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

$Q_1(Q_2)$ – потребность в грузе соответственно на первом и втором звене развозочного маршрута, т.

Общий пробег автомобиля

$$L_{общ}=L_{н1}+L_{м}+L_{н2}. \quad (4)$$

Время в наряде автомобиля фактическое

$$\mathrm{T_{нф}} = \frac{L_{общ}}{V_т} + t_{пр} + t_з \cdot (\mathrm{P}-1). \quad (5)$$

Расчет плановых результатов работы каждого АТС при перевозке груза на отдельном маятниковом маршруте с обратным не груженым пробегом (рисунок) выполним с использованием модели микро АТСПГ, по ниже приведенным формулам (6), (7), (8), (9).

Время ездки АТС на маршруте

$$t_{е,о} = \frac{L_г+L_х}{V_т} + t_{пр}, \quad (6)$$

где $t_{е,о}$ – время ездки (оборота) АТС на маршруте, ч.;

$V_т$ – средняя техническая скорость, км/ч;

$t_{пр}$ – время погрузки и разгрузки за ездку, ч.

Выработка АТС в тонно-километрах

$$Pт{\cdot}км=Q{\cdot}L_г. \quad (7)$$

Общий пробег АТС при 1-й ездке

$$L_{общ}=L_{н1}+L_г+L_х+L_{н2}. \quad (8)$$

Время фактическое в наряде при 1-й ездке

$$\mathrm{T_{нф}} = \frac{L_{общ}}{V_т} + t_{пр}. \quad (9)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

В силу невозможности использования рельсового транспорта к каждому дому единственным средством для перевозки является автомобильный транспорт. Подвижной состав, соответствующий транспортной характеристике угля, – это автомобили и автопоезда общего назначения с кузовом бортовая платформа, а также автомобили и автопоезда с самосвальными кузовами. Способ погрузки – механизированный, могут применяться фронтальные погрузчики на колесном или гусеничном ходу, а также экскаваторы. Могут применяться ленточные погрузчики и бункеры. Разгрузка осуществляется при использовании самосвальных кузовов, с помощью гидро- и электропривода, в случае бортовых кузовов в частном секторе – вручную.

Чтобы величины исходных данных не оказали влияния на последующий результат, примем следующее. Большинство дорог внутри города с твердым покрытием, асфальтовые. Выполним исследование влияния расстояния на затраты при перевозке угля помашинным способом и «развозкой».«Развозка» – рассмотрим решение задачи на примере работы десятитонного автомобиля МАЗ 5550В5-4420-021(в кузове поставлен дополнительный борт, делящий кузов пополам), на развозочном маршруте со следующими данными: один пункт погрузки и два пункта разгрузки, перевозимый груз – уголь навалом, плотность угля 0,8 т / м3, норма времени на погрузку угля тракторным одноковшовым погрузчиком емкостью ковша 1 м3 (ПОСТАНОВЛЕНИЕ от 17 октября 2000 г. N 76 п.3.7.1 таблица 46), 0,048 чел.-ч на 1 м3. Объем груза, перевозимого автомобилем, 12,6 м^3,односменный режим работы, городские условия эксплуатации, количество и параметры груза известны заранее и не изменяются, механизированные способы погрузки и разгрузки. Численные значения исходных данных представлены в таблице 1.

Таблица 1
Исходные данные «развозка»
Источник: составлено авторами.

Table 1
Delivery initial data
Source: compiled by the authors.

Наименование	Значение
Количество отправок, ед.	2,0
Класс груза	1,0
Грузоподъемность q, т	10,0
Объем груза, представленный к перевозке за оборот, Q_o, т	10.0
Объем груза, перевозимый на первом звене, Q1, т	10,0
Объем груза, перевозимый на втором звене, Q2, т	5,0
Первый нулевой пробег Lн1, км	10,0
Второй нулевой пробег Lн2, км	35,0
Пробег с грузом на первом звене Lг1, км	25,0
Пробег с грузом на втором звене (для развозочного) Lг2, км	1÷24,0
Холостой пробег Lх, км	25,0
Среднетехническая скорость Vт, км/ч	25,0
Время погрузки tп, ч	0,60
Время разгрузки в одном пункте tр, ч	0,30
Время на дополнительный заезд в промежуточные пункты $t_з$, ч	0,15

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Таблица 2
Результаты расчёта ТЭП «развозка», при Lг2 = 1 км
Источник: составлено авторами.

Table 2
The results of the calculation of technical and economical indexes for delivery when Lg2 = 1 km
Source: compiled by the authors.

Показатели	Значения
Длина маршрута Lм, км	51,0
Время оборота to, ч	3,09
Выработка АТС в тоннах Q, т	10,0
Выработка АТС в тонно-километрах P, т·км	255,0
Общий пробег (при одном обороте за день) АТС Lобщ, км	71,0
Время фактическое в наряде Тнф, ч	3,74

Ограничением организации развозочного маршрута является требование, чтобы время оборота to не превышало Тн = 8 ч. Результаты расчётов ТЭП представлены в таблице 2.

Минимальному уровню сложности практики перевозок грузов соответствует постановка задачи – на маятниковом маршруте с обратным не груженым пробегом АТС может выполнять единственную ездку за оборот, т. е. при Ze, o = 1. Рассмотрим вариант перевозки этих же объемов грузов (см. таблицу 1), но на двух маятниковых маршрутах с обратным не груженым пробегом (см. рисунок) пятитонными автомобилями МАЗ 4581N2-520-020.Объем перевозимого груза 6,3 м^3, односторонний грузопоток, уголь, груз первого класса, 0,048 – норма времени на погрузку угля тракторным одноковшовым погрузчиком, емкость ковша 1 м^3 (ПОСТАНОВЛЕНИЕ от 17 октября 2000 г. N76 п.3.7.1 таблица 46), чел.-ч; односменный режим работы, городские условия эксплуатации, количество и параметры груза известны заранее и не изменяются, механизированный способ разгрузки. Дополнительные к таблице 1 значения исходных данных представлены в таблице 3.

Результаты расчёта по модели микро АТСПГ представлены в таблицах 4, 5. Результаты таблицы 5 получены методом прямого счета, суммированием.

Подведем итог: для перевозки 10 т угля на двух маятниковых маршрутах с обратным не груженым пробегом на практике работа выполняется в течение дня, исход первый – работа выполняется одновременно двумя АТС, результаты в таблице 5.

Таблица 3
Дополнительные исходные данные
Источник: составлено авторами.

Table 3
Additional input ompiled by the authors.
Source: Compiled by the authors.

Наименование	Значение
Количество отправок, ед.	1,0
Класс груза	1,0
Грузоподъемность каждого АТС q, т	5,0
Пробег с грузом на втором маршруте Lг2, км	25,0
Коэффициент статического использования грузоподъемности, γ	1,0
Первый нулевой пробег Lн1, км	10,0
Второй нулевой пробег Lн2, км	10,0
Коэффициент использования пробега βe,o	0,5
Среднетехническая скорость Vт, км/ч	25,0
Время погрузки АТС tп, ч	0,29
Время разгрузки АТС tр, ч	0,15

Таблица 4
Результаты расчёта ТЭП на каждом маятниковом маршруте
Источник: составлено авторами.

Table 4
Technical and economical indexes calculation results on each pendulum route
Source: Compiled by the authors.

Показатели	Значения
Длина маршрута, км	50,0
Время ездки te,o, ч	2,44
Выработка АТС в тонно-километрах P, т·км	125,0
Общий пробег (при одном обороте за день) АТС Lобщ, км	70,0
Время фактическое в наряде Тнф, ч	3,24

Таблица 5
Суммарные результаты ТЭП на маятниковых маршрутах с обратным не груженым пробегом
Источник: составлено авторами.

Table 5
Total results of technical and economical indexes on pendulum routes with reverse unloaded mileage
Source: Compiled by the authors.

Показатели	Значения	
	1-й маршрут	2-й маршрут
Выработка АТС в тоннах Q, т	5,0	5,0
Выработка АТС в тонно-километрах P, т·км	125,0	125,0
Общий пробег АТС Lобщ, км	70,0	70,0
Время фактическое в наряде Тнф, ч	3,24	3,24
Потребность в АТС	1,0	1,0

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

Исход 2 – достаточно работы одного самосвала, в этом случае на первом маршруте нулевой пробег второй не выполняется, а на втором маршруте не выполняется первый нулевой пробег. Общий пробег 140-20= 120 км. Суммарное время в наряде 6,2-0,8=5,4 ч. Для дальнейших расчетов принимаем исход 2.

Перевозка одним АТС 10 т угля на развозочном маршруте: общий пробег 71 км, суммарное время в наряде 3,74 ч (см. таблицу 2).

Предположим грузополучатель Р2 удаляется с шагом в 3 км. Тогда на развозочном маршруте будет увеличиваться звено Lr2, последовательно принимая значения, равные 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25 км, с таким же шагом будет возрастать холостой пробег: 28, 31, 34, 37, 40, 43, 46, 49 км. На маятниковом маршруте № 2 будет увеличиваться пробег с грузом второй, а также холостой пробег, последовательно принимая значения, равные 28, 31, 34, 37, 40, 43, 46, 49 км. Расчеты выполняются аналогично вышеприведенным, результаты в таблицах 6 и 7.

Расчет затрат выполнен на основе нормативного подхода[20] и программно-математического обеспечения по расчету затрат на перевозку грузов в составе моделей микро и особо малой автотранспортных систем[21], в соответствии с Инструкцией по составу, учету и калькулированию затрат, включаемых в себестоимость перевозок (работ, услуг) предприятий автомобильного транспорта: утв. Минтрансом РФ 29 августа.1995 г // ИПО ГАРАНТ-Максимум / НПП «ГАРАНТ-СЕРВИС-УНИВЕРСИТЕТ». – Дата обновления: 01.07.2021, организационно правовая форма предприятия – ООО. Результаты расчетов затрат представлены в таблице 8.

Таблица 6
Развозочный маршрут
Источник: составлено авторами.

Table 6
Delivery route
Source: Compiled by the authors.

Lr_2,км	Lx, км	Lм, км	te,o, ч	Lобщ, км	Тнф, ч
4	28	57	3,33	77	3,98
7	31	63	3,57	83	4,22
10	34	69	3,81	89	4,46
13	37	75	4,05	95	4,70
16	40	81	4,29	101	4,94
19	43	87	4,53	107	5,18
22	46	93	4,77	113	5,42
25	49	99	5,01	119	5,66

Таблица 7
Второй маятниковый маршрут
Источник: составлено авторами.

Table 7
Second pendulum route
Source: Compiled by the authors.

Lr2, км	Lx, км	Lм2,км	te,o, ч
28	28	56	3,48
31	31	62	3,72
34	34	68	3,96
37	37	74	4,20
40	40	80	4,44
43	43	86	4,68
46	46	92	4,92
49	49	98	5,16

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Осмысление результатов исследования дает основания предположить, что установлено преобладание применения «развозочной» технологии в рассматриваемых условиях. Для ООО, оказывающего услуги населению по перевозке угля в городе, несомненно выгодно применение «развозки», поскольку это позволяет «экономить» собственные затраты на оказание услуг, в рамках рассмотренного примера экономия составляет от 36,17 до 25,82% за ездку на развозочном маршруте, в диапазоне расстояния между пунктами разгрузки от 1 км до 24 км.

Итак, исследование завершено, установлено преимущество «развозочной» технологии перевозок угля перед помашинной, в заданных условиях. Тогда цель достигнута, чему способствовали корректные постановки озвученных ранее задач.

[20] Юрьева Н. И., Витвицкий Е. Е. (2015) Электронная база данных «Справочные и нормативные материалы по автомобильному транспорту»/ Свидетельство о регистрации электронного ресурса № ОФЭРНиО: 20930 Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование» № 05 (72):66.

[21] Юрьева Н. И., Витвицкий Е. Е. (2015) Программно-математическое обеспечение «Расчет затрат на перевозку грузов в составе моделей микро и особо малой автотранспортных систем». Свидетельство о регистрации электронного ресурса № ОФЭРНиО: 21011 Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование» № 06 (73).

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Таблица 8
Результаты расчетов для сравнения (М – маятниковые, Р – развозочные)
Источник: составлено авторами.

Table 8
Calculation results for comparison (M – pendulum, P – delivery)
Source: compiled by the authors.

Общий пробег (L общ), км				Фактическое время в наряде (Тнф), ч				Полная себестоимость (З пер,) руб. /т			
М	Р	ΔL общ, км	ΔL общ, %	М	Р	Δ Тнф, км	Δ Тнф, %	М	Р	Δ З пер. руб.	Δ З пер, %
120	71	49	40,83	5,68	3,74	1,94	34,15	680,19	434,11	246,08	36,17
126	77	49	38,89	5,92	3,98	1,94	32,77	687,67	448,93	238,74	34,72
132	83	49	37,12	6,16	4,22	1,94	31,49	710,19	474,31	235,88	33,21
138	89	49	35,51	6,40	4,46	1,94	30,31	732,81	499,40	233,41	31,85
144	95	49	34,03	6,64	4,70	1,94	29,22	755,32	525,05	230,27	30,49
150	101	49	32,67	6,88	4,94	1,94	28,2	778,14	550,82	227,32	29,21
156	107	49	31,41	7,12	5,18	1,94	27,25	800,85	576,51	224,34	28,01
162	113	49	30,25	7,36	5,42	1,94	26,36	823,87	602,33	221,54	26,89
168	119	49	29,17	7,60	5,66	1,94	25,53	847,00	628,27	218,73	25,82

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кабанец Д. Ю., Витвицкий Е. Е. Методика обоснования применения технологий перевозок грузов на радиальных маршрутах в городах // Вестник СибАДИ. 2014. № 2(36). 2014. С. 18–25.
2. Клюев Э. А., Войтенков С. С. Практика автоперевозок грузов помашинными отправками в городах// Техника и технологии строительства. 2016. № 4 (8). С.27–29.
3. Кочерга В. Г., Зырянов В. В. Планирование и организация грузовых автомобильных перевозок на улично-дорожной сети мегаполисов // Инженерный вестник. 2012. http://www.cyberleninka.ru/article/n/planirovanie-i-organizatsiya-gruzovyh-avtomobilnyh-perevozok-na-ulichno-dorozhnoy-seti-megapolisov (Свободный: 05.01.2022)
4. Атрохов Н. А., Мороз Д. Г. Альтернативные технологии перевозок мелких партий грузов // Вестник московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2017. С. 92–100.
5. Куш Е. И., Галкин А. С., Фиялко Н. А. Планирование транспортного процесса перевозки грузов в условиях города (на примере города Харькова)// Комунальне господарствомісто …, 2016 http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/kgm_tech_2016_132_18.pdf (Свободный: 05.01.2022).
6. Пугачёв И. Н., Куликов Ю. И. Инновационные концепты транспортного развития городов // Техника и технология транспорта. 2019. № 13. С. 65. http://transport-kgasu.ru/files/N13-65RTS19.pdf (Свободный: 05.01.2022)
7. Дирко С. В., Павлова И. С. Логистические решения в смарт-городах // Логистические системы в глобальной экономике. 2018 № 8. 2018. С.115–118. https://elibrary_35425377_72145211.pdf (Свободный: 05.01.2022).
8. Ярещенко Н. В., Жирякова Я. Ю. Современное состояние мелкопартионных перевозок. Проблематика совершенствования // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. №1/7 (43). 2010. С.4–6. https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-melkopartionnyh-perevozok-problematika-sovershenstvovaniya (Свободный: 05.01.2022)
9. Xiangyang, X., Gao, J., Cao, GY. et al. Systems Analysis of Coal Production and Energy-Water-Food Security in China. Cybern SystAnal 51, 370–377 (2015). https://doi.org/10.1007/s10559-015-9729-6 (accessed: 05.01.2022).

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

REFERENCES

1. Kabanec D.J., Vitvickij E. E. Metodika obosnovanija primenenija tehnologij perevozok gruzov na radial'nyh marshrutah v gorodah [Methodology for justifying the use of cargo transportation technologies on radial routes in cities]. *Vestnik SibADI*. 2014; 2, pp.18-25. (in Russ.)

2. Kljuev Je. A., Vojtenkov S. S. Praktika avtoperevozok gruzov pomashinnymi otpravkami v gorodah [The practice of road transportation of goods by car shipments in cities]. *Tehnika i tehnologii stroitel'stva*. 2016; 4 (8): 27-29. (in Russ.)

3. Kocherga V. G., Zyrjanov V. V. Planirovanie i organizacija gruzovyh avtomobil'nyh perevozok na ulichno-dorozhnoj seti megapolisov [Planning and organization of road freight transportation on the road network of megacities]. *Inzhenernyjvestnik*. 2012. Available at: http://www.cyberleninka.ru/article/n/planirovanie-i-organizatsiya-gruzovyh-avtomobilnyh-perevozok-na-ulichno-dorozhnoy-seti-megapolisov (accessed: 05.01.2022)

4. Atrohov N. A., Moroz D. G. Al'ternativnye tehnologii perevozok melkih partij gruzov [Alternative technologies for the transportation of small consignments of goods]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta (MADI)*. 2017: 92-100. (in Russ.)

5. Kush E. I., Galkin A. S., Fijalko N. A. Planirovanie transportnogo processa perevozki gruzov v uslovijah goroda (na primere goroda Har'kova) [Planning of the transportation process of goods in the city (using the example of the city of Kharkov)]. *Komunal' ne gospodarstvo mist*. 2016. Available at: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/kgm_tech_2016_132_18.pdf (accessed: 05.01.2022) (in Russ.)

6. Pugachjov I. N., Kulikov Ju. I. Innovacionnye koncepty transportnogo razvitija gorodov [Innovative Urban Transport Concepts]. *Tehnika I tehnologija transporta*. 2019; S13: 65 p. Available at: http://transport-kg-asu.ru/files/N13-65RTS19.pdf (accessed: 05.01.2022).

7. Dirko S. V., Pavlova I. S. Logisticheskiereshenija v smart-gorodah, Logisticheskiesistemy v global'noj [Logisticheskiereshenija v smart-gorodah. *Logisticheskie sistemy v global'noj economy*. 2018; 8: 115-118. Available at: http://www.elibrary.ru (accessed: 05.01.2022) (in Russ.)

8. Jareshhenko N. V., Zhirjakova Ja. Ju. *Sovremennoe sostojanie melkopartionnyh perevozok. Problematika sovershenstvovanija* [Current state of melkopartionny transportations. Improvement perspective]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*. 2010; 1/7 (43): 4-6. Available at: http://www.cyberleninka.ru (accessed: 05.01.2022) (in Russ.)

9. Xiangyang X., Gao, J., Cao, GY. et al. Systems Analysis of Coal Production and Energy-Water-Food Security in China, 2015, CybernSyst Anal 51. pp. 370–377. Available at: https://doi.org/10.1007/s10559-015-9729-6 (accessed: 05.01.2022).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Витвицкий Е. Е. Формирование направления, цели и задач исследования, теоретических положений, использования математических моделей и методов, результатов исследований в части определения пределов применения помашинной и развозочной технологий при перевозке угля автомобильным транспортом на примере города.

Юрьева Н. И. Расчет результатов работы автомобиля и затрат при применении помашинной и развозочной технологий при перевозке угля на примере города.

Тажигулова Г. О. Обзор и анализ теоретических представлений, и особенностей математического моделирования автотранспортных систем перевозок грузов в городах.

Курымбаев С. Г. Анализ исследований отечественных и зарубежных авторов в части планирования процесса перевозки грузов в условиях города.

Байгожина П. У. Анализ исследований отечественных и зарубежных авторов в части применяемых технологий перевозки угля мелкими партиями в городах.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Evgeny E. Vitvitsky. Formation of the area, goals and objectives of the study, theoretical provisions, use of mathematical models and methods, research results in terms of determining the limits for the use of machine and delivery technology when transporting coal by road in the case of a city.

Natalya I. Yurieva. Calculation of the results of the automobile work and costs when using machine and delivery technologies when transporting coal in the case of a city.

Gulmira O. Tazhigulova. Review and analysis of theoretical ideas and peculiarities of mathematical modelling of motor transport systems of cargo transportation in cities.

Sayat G. Kurymbaev. Analysis of Russian and foreign authors studies in terms of planning the transport process of cargo transportation in the city.

Perizal U. Baigozhina. Analysis of Russian and foreign authors studies in terms of the applied technologies of coal transportation in small shipments in cities.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Витвицкий Евгений Евгеньевич – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Организация перевозок и управление на транспорте».

Юрьева Наталья Ивановна – старший преподаватель кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте».

ТажигуловаГульмираОлжабаевна – д-р пед. наук.

Курымбаев Саят Гайниевич – д-р пед. наук, доц.

Байгожина Перизал Увалиевна – магистр.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Evgeny E. Vitvitsky – Dr. of Sci., Professor, Head of the Transport Organisation and Management Department Transportation.

Natalya I. Yurieva – Senior Lecturer of the Transport Organisation and Management Department Transportation.

Gulmira O. Tazhigulova – Dr. of Sci.

Sayat G. Kurymbaev – Dr. of Sci., Associate Professor.

Perizal U. Baigozhina – Master.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

УДК 656
DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-370-397
EDN: SUGGFY
Научная статья

Check for updates

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ ПАССАЖИРОВ ОБЩЕСТВЕННЫМ ТРАНСПОРТОМ ИЗ ОПЕРАЦИЙ ВАЛИДАЦИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОЕЗДНЫХ БИЛЕТОВ

А. И. Фадеев*, С. Алхуссейни
Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Россия
9135335784@mail.ru, http://orcid.org/0000-0001-6581-7087,
eng.sami20143@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-3028-0675,
**ответственный автор*

АННОТАЦИЯ

Введение. *Существующие методы определения пассажирских потоков вследствие их трудоемкости и ограниченной эффективности не позволяют осуществлять на должном уровне мониторинг транспортного спроса. В настоящее время для создания эффективных решений (в том числе на общественном транспорте) используются технологии, основанные на сборе, интеграции и анализе больших данных (Urban computing, Big data, Internet of things).*

Материалы и методы. *В рамках данного подхода разработана методика определения корреспонденций пассажиров общественным транспортом из операций валидаций электронных проездных билетов (Electronic Travel Tickets): смарт-карт (smart card), транспортных карт, магнитных карт, мобильных телефонов или других электронных устройств (Electronic Gadgets), реквизиты которых фиксируются в автоматизированной системе оплаты проезда Automated Fare Collection (AFC) при выполнении операции валидации.*

Методика, основанная на определении и оценке множества допустимых вариантов связанности последовательности пассажирских поездок, позволяет рассчитывать параметры пассажирских корреспонденций с учетом множества факторов, оказывающих влияние на выбор пассажиром маршрутов поездок. Например, в отличие от ранее выполненных исследований, учтена практика оплаты проезда в любой точке маршрута, не обязательно сразу же после посадки в транспортное средство.

Результаты. *Доказано, что пассажирские корреспонденции, рассчитанные посредством разработанной методики, статистически соответствуют генеральному множеству поездок общественным транспортом в пределах допустимых погрешностей, в результате обеспечивается оценка характеристик спроса общественного транспорта.*

Обсуждение и заключение. *Применение разработанной методики позволяет организовать непрерывный мониторинг пассажирских потоков, технико-эксплуатационных показателей функционирования общественного транспорта и таким образом реализовать концепцию устойчивого развития общественного транспорта посредством проектирования транспортного предложения, соответствующего спросу.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *пассажирский поток, транспортный спрос, пассажирские корреспонденции, матрица пассажирских корреспонденций, общественный городской транспорт.*

Статья поступила в редакцию 21.04.2022; одобрена после рецензирования 14.05.2022; принята к публикации 10.06.2022.
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: Фадеев А. И., Алхуссейни С. Методика определения корреспонденций пассажиров общественным транспортом из операций валидаций электронных проездных билетов // Вестник СибАДИ. 2022. Т.19, № 3 (85). С. 370-397. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-370-397

© Фадеев А. И., Алхуссейни С., 2022

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-370-397
EDN: SUGGFY
Original article

METHODOLOGY FOR DETERMINING PASSENGERS CORRESPONDENCE BY PUBLIC TRANSPORT FROM ELECTRONIC TICKETS VALIDATION OPERATIONS

Aleksandr I. Fadeev*, Sami Alhusseini
Siberian Federal University,
Krasnoyarsk, Russia
9135335784@mail.ru, http://orcid.org/0000-0001-6581-7087,
eng.sami20143@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-3028-0675,
**corresponding author*

ABSTRACT

Introduction. *Current methods for determining passenger ridership, due to their complexity and limited efficiency, do not allow monitoring transport demand at the proper level (in terms of comprehensiveness and continuity). Nowadays, technologies based on the collection, integration and analysis of big data (Urban computing, Big data, Internet of things) are used to create effective solutions in many aspects of our lives (including for urban transit).*
Materials and methods. *Within the framework of this approach, a methodology for determining the correspondence of transit passengers from the operations of validating any kind of electronic travel tickets: smart cards, transport cards, magnetic cards has been developed. Each operations details are recorded in the Automated Fare Collection (AFC) system during the validation.*
This methodology based on the definition and evaluation the set of acceptable options of passenger trips sequences, which form the passenger correspondence, taking into account many factors that effect on the route choice by a passenger. For example, in contrast to previous studies, the practice of paying for trip at any point on the route, not necessarily immediately after boarding the vehicle, was taken into account.
Results. *It was proved that passenger correspondence calculated using the developed methodology statistically corresponds to the general set of transit passenger ridership within acceptable errors. The chaacteristics of transit demand is provided in the results.*
Discussion and conclusion. *The application of the developed methodology makes it possible to organize continuous monitoring of passenger flows, technical and operational indicators of the functioning of transit system and thus implement the concept of sustainable development of public transport by designing public transit supply that meets demand.*

KEYWORDS: *passenger flow, transit demand, passenger correspondence, matrix of passenger correspondence, urban transit.*

The article was submitted 21.04.2022; approved after reviewing 14.05.2022; accepted for publication 10.06.2022.
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: Aleksandr I. Fadeev, Sami Alhusseini Methodology for determining passengers correspondence by public transport from electronic tickets validation operations. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (3): 370-397. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-370-397

© Fadeev A. I., Alhusseini S., 2022

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

ВВЕДЕНИЕ

Баланс спроса и предложения без излишнего объема инфраструктуры – это одно из основных условий устойчивости общественного транспорта, обеспечивающего экономичное, безопасное, надежное, экологически чистое и качественное удовлетворение мобильности населения: доступ к месту работы, учебы, товарам, услугам, социальным и культурно-бытовым объектам. Реализация данной концепции требует решения проблемы мониторинга транспортного спроса, т. е. формирования системы постоянного наблюдения за мобильностью населения, результаты которого обеспечивают обоснованные управленческие решения по формированию оптимального транспортного предложения.

Спрос на городской общественный транспорт, т. е. объемы и направления пассажирских потоков традиционно описывается матрицей корреспонденций (МК) [1]. Существующие методы определения МК вследствие их трудоемкости и ограниченной эффективности не позволяют осуществлять на должном уровне мониторинг транспортного спроса. В настоящее время для создания эффективных решений (в том числе на общественном транспорте) используются технологии, основанные на сборе, интеграции и анализе больших данных (Urban computing, Big data, Internet of things) [2].

В рамках данного подхода в настоящей статье рассмотрена задача определения (восстановления) корреспонденций пассажиров общественным транспортом посредством анализа операций валидаций электронных проездных билетов (Electronic Travel Tickets): смарт-карт (smart card), транспортных карт, магнитных карт, мобильных телефонов или других электронных устройств (Electronic Gadgets), реквизиты которых фиксируются в автоматизированной системе оплаты проезда Automated Fare Collection (AFC) при выполнении операции валидации. Информация, формируемая в AFC, представляет существенный интерес для решения задач планирования работы транспорта, поскольку позволяет рассчитывать спрос общественного транспорта, т. е. потребность населения в передвижениях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

1. Состояние вопроса. Рассмотрим существующие подходы к решению рассматриваемой задачи, которые позволяют посредством данных AFC определять следующие параметры поездок пассажиров (пассажирских корреспонденций): остановочные пункты и время начала и завершения поездки, вид транспорта, расстояние поездки. Данная задача рассматривалась во многих исследованиях [3, 4, 5, 6].

В большинстве AFC городского общественного транспорта пассажир выполняет валидацию электронного билета один раз во время поездки. Оплата проезда производится на станции или в транспортном средстве, в котором пассажир осуществляет валидацию билета, как правило, сразу же после посадки, хотя в некоторых случаях до оплаты он может проехать одну-две остановки. В России иногда практикуется система расчетов за проезд в пункте назначения пассажира. Данный факт не учитывается в исследованиях зарубежных авторов. В операциях валидации фиксируются следующие данные [3, 7, 8, 9]: номер карты, время валидации, идентификатор устройства валидации, которые позволяют определить место операции (вокзал, станция метро, турникет станции метро, транспортное средство).

В некоторых системах также сохраняются дополнительные данные, например, в системе Transantiago (Сантьяго, Чили) известен тип карты [10]: студенческая, со скидкой, бесплатная и т. д. В работе Li [9] карты подразделены на: с фиксированной месячной оплатой, без ограничения числа поездок, бесплатная, льготная (скидка 50%), общая (скидка 10%). Эти данные могут быть использованы для классификации поездок по социальным группам населения.

По техническим причинам сырые данные операций валидации смарт-карт зачастую содержат ошибки, которые требуется локализовать: откорректировать, если возможно, или исключить операцию из рассмотрения [9].

В некоторых системах AFC, например Квинсленд Австралия [11], валидация выполняется в начале и конце поездок, т.е. в операции оплаты за проезд имеется идентификатор карты, маршрут, направление, время посадки, время выхода из транспорта, остановка посадки и выхода. Информация из данных систем полезна при тестировании алгоритмов расчета пассажирских корреспонденций из операций валидации [11].

В ранее проведенных исследованиях рассматривалась AFC Чикаго, перевозки метрополитеном в Нью-Йорке (Barry [3, 7]) и другие системы. В большинстве AFC [3, 4, 7 ,12, 13, 14] не регистрируется местоположение операции валидации, координаты точки валидации устанавливаются по времени операции.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

В большинстве случаев валидация электронного билета осуществляется в начале поездки. Началом поездки считается остановочный пункт, предыдущий операции валидации. Для определения данного пункта применяются следующие подходы:

– по расписанию движения автобусов (исследования Barry [3, 7], в которых решалась отдельная проблема, связанная с тем, что в системе Metrocard время транзакции усекается до 6-минутного интервала, это приводит к неточностям в определении остановочного пункта посадки пассажира);

– посредством дополнительной обработки данных систем автоматического определения местоположения транспортного средства Automatic Vehicle Location (AVL), в которых фиксируется местоположение и временные отметки движения транспортного средства по маршруту [8, 10, 15]; для решения рассматриваемой задачи требуется связать базы данных: AFC и AVL.

В некоторых современных системах AFC и AVL интегрированы, в операции валидации фиксируется ее местоположение, например системы GoCard [11], Andante [16].

Жизнедеятельность человека сопровождается связанными поездками (рисунок 1), что позволяет устанавливать пассажирские корреспонденции путем анализа цепочки операций валидации электронных проездных билетов. Применяемый метод заключается в построении последовательности пассажирских корреспонденций путем соединения данных, зафиксированных в операциях валидации электронного билета [3, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 19].

Завершение корреспонденции определяется на основании остановочного пункта начала следующей поездки. При этом применяются следующие ключевые допущения [20, 21, 22]:

1. Остановочный пункт расположен на маршруте после валидации смарт-карты.

2. Он находится в пешеходной доступности от пункта начала следующей поездки. Расстояние пешеходной доступности рассчитывается как евклидова длина прямой между остановочными пунктами (завершения текущей и начала следующей поездки).

3. Пассажиры заканчивают свою последнюю поездку дня на остановке, с которой они начали свою первую поездку дня.

Первым сформулировал и апробировал приведённые предположения Barry [3]. На начальном этапе его исследования ограничивались станциями метро, в 2009 г. расширились на маршруты автобусов.

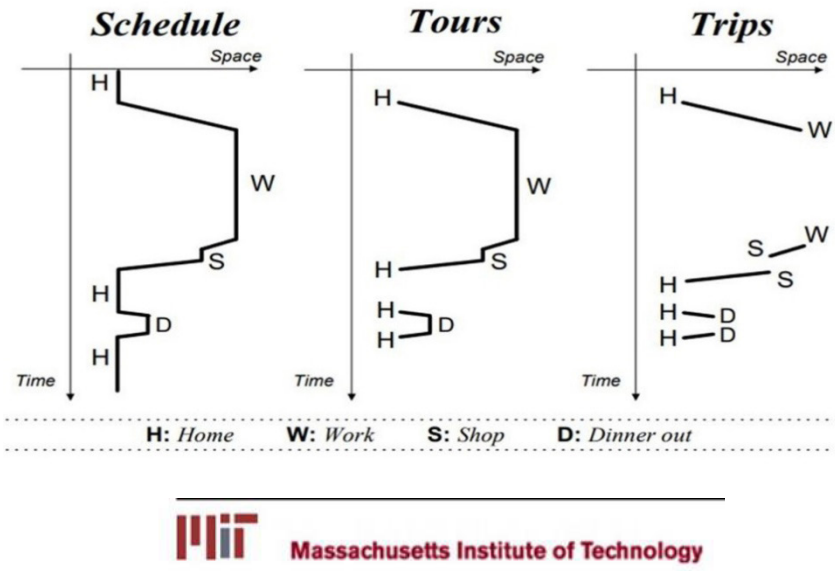


Рисунок 1 – Транспортное поведение жителя[1]

Figure 1 – Passenger transport behavior[1]

[1] Transportation systems analysis: demand and economics. Режим доступа: https://ocw.mit.edu/courses/civil-and-environmental-engineering/1-201j-transportation-systems-analysis-demand-and-economics-fall-2008/lecture-notes/MIT1_201JF08_lec05.pdf (дата обращения: 10.04.2022).

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

Некоторые поездки пассажир выполняет видом транспорта, в котором электронный проездной билет не применяется, например в такси. Такие случаи поездок, не зафиксированных AFC, необходимо локализовать. Возникает несовместимость операций валидации, для выявления которой применяются следующие оценки [23]:

– единственная поездка в день;

– две валидации подряд происходят на одном и том же пункте, что свидетельствует о поездке, не зафиксированной AFC, или об оплате проезда одной картой двумя или более пассажирами;

– конечный пункт последней поездки невозможно определить, поскольку первая и последняя валидации выполняются на одном пункте [3].

Общепринятый подход определения времени завершения поездки заключается в оценке момента прибытия транспортного средства на остановочный пункт посредством данных системы AVL или по расписанию движения маршрута.

Разработанные алгоритмы формирования пассажирских корреспонденций позволяют интерпретировать от 60 до 88% операций валидации электронных билетов (таблица 1). Наличие нераспознанных операций обусловлено тем, что, как упоминалось выше, некоторые поездки выполняются без использования электронного проездного билета.

При расчете объема спроса на общественный транспорт требуется учесть, во-первых, неинтерпретированные операции валидации и, во-вторых, поездки пассажиров, не использующих электронный проездной билет. Данная задача рассмотрена в [23]. Для расчета транспортного спроса необходимо установить удельный вес поездок, оплачиваемых электронными проездными билетами. В [23] показано, что удельный вес поездок по электронным билетам следует рассчитывать для каждого маршрута отдельно.

Неинтерпретированные валидации учитываются посредством соответствующих коэффициентов балансировок.

Из полученных маршрутных поездок определяются сетевые корреспонденции пассажира, т. е. перемещения от начального пункта (например, дом) до пункта назначения (например, работа), которые могут выполняться по нескольким маршрутам с пересадками. Расчет сетевых корреспонденций осуществляется на основании упорядоченной по времени цепочки маршрутных корреспонденций. Для каждой пары корреспонденций анализируются условия пересадки и при их удовлетворении маршрутные корреспонденции объединяются в сетевую [17, 23,24].

В [23, 25] рассмотрен метод определения (восстановления) корреспонденций пассажиров общественным транспортом посредством интеллектуального анализа операций валидации электронных проездных билетов, который, в отличие от ранее проведённых исследований, обеспечивает:

– обработку операций валидации электронного билета как в начале, так и в конце поездки;

– расчет параметров пассажирских потоков, транспортного предложения и МК с учетом нераспознанных операций валидации;

– оценку репрезентативности полученных пассажирских корреспонденций генеральной совокупности транспортного спроса.

Таблица 1

Объем исследуемой выборки и удельный вес интерпретированных валидаций электронных билетов

Источник: составлено авторами.

Table 1

Sample volume and the share of interpreted e-ticket validations from different works

Source: compiled by the authors.

Автор	Объём выборки	Интерпретировано валидаций, %
A Alsger et al. (2016) [11]	161 446	76–84
A Alsger et al. (2015) [24]	473 525	88
N Nassir et al. (2011) [6]	84 413	61
Jinhua Zhao(2007) [8]	2 500 000	72
Cui (2006) [14]	2 736 454	79
А. И. Фадеев, С. Алхуссейни (2021) [23, 25]	6 340 518	65

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

В данном методе считается, что остановочный пункт, предыдущий оплате поездки, является началом корреспонденции пассажира. Однако на практике некоторые пассажиры могут оплатить поездку, проехав один-два остановочных пункта. В результате возникают погрешности расчета транспортного спроса.

В данной работе приведена методика расчета корреспонденций пассажиров общественным транспортом из операций валидации электронных проездных билетов, в которой учтен упомянутый недостаток: считается, что пассажир может осуществить оплату проезда в любой точке маршрута, не обязательно сразу же после посадки в транспортное средство.

2. Методика расчета корреспонденций пассажиров общественным транспортом из операций валидации электронных проездных билетов. Необходимо определить множество маршрутных ***(P)*** и сетевых ***(H)*** пассажирских корреспонденций, выполненных по электронному проездному билету.

На транспортной сети расположены остановочные пункты ***W***, через которые проходят маршруты ***M***, каждый из которых состоит из двух терминалов и последовательности промежуточных остановочных пунктов. Движение по маршрутам осуществляется в двух направлениях: прямом и обратном, т. е. в маршруте имеется два рейса, которые описываются парой последовательностей пунктов его траектории в зависимости от направления движения $k=\{a,b\}$ (где *a, b* – прямое и обратное направление соответственно).

$$M=\{M^{\delta}:k=a,b\};M\subset\boldsymbol{M};|\boldsymbol{M}|=m; \quad (1)$$

$$M^{\delta}=\{w_1,\dots,w_i,\dots,w_t\};M^{\delta}\subset M;w_i\subset\boldsymbol{W}, \quad (2)$$

где M^{δ} – δ-й рейс маршрута M;

w_i – *i*-й остановочный пункт на транспортной сети;

m – число маршрутов.

В AFC фиксируется время выполнения операций валидации электронного проездного билета $\boldsymbol{E}$, маршрут и транспортное средство, посредством которого осуществлена перевозка. Известна последовательность операций валидации электронного билета $\boldsymbol{E}=\{e_1,e_2,...,e_k,...\}$, каждый элемент которой отражает поездку (маршрутную корреспонденцию) пассажира p_k.

В рейсе остановочный пункт начала поездки расположен перед точкой, в которой произведена операция валидации проездного билета, завершения поездки – после точки валидации электронного билета (рисунок 2). Обозначим множество остановочных пунктов $\boldsymbol{W}_k^-$, расположенных в *k*-м рейсе до операции валидации электронного билета, и $\boldsymbol{W}_k^+$ – после операции валидации, $\boldsymbol{W}_k^-\subset\boldsymbol{W}$; $\boldsymbol{W}_k^+\subset\boldsymbol{W}$. Таким образом остановочный пункт начала пассажирской корреспонденции – это элемент множества $\boldsymbol{W}_k^-$, а завершения – $\boldsymbol{W}_k^+$.

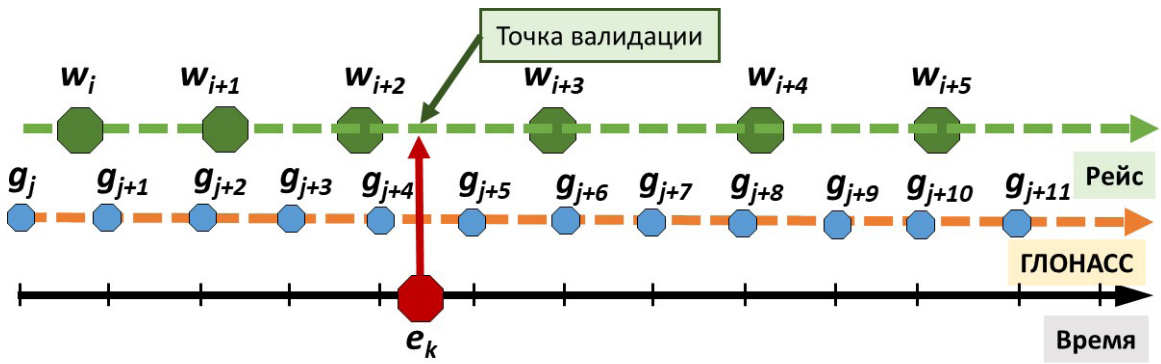


Рисунок 2 – Расчетная схема маршрутной пассажирской корреспонденции, где w_i, w_{i+1}, … – остановочные пункты рейса; g_i, g_{i+1}, … – навигационные отметки системы спутникового позиционирования; e_k – валидация электронного проездного билета
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Calculation scheme of a passenger trip, where: w_i, w_{i+1}, … – stopping points of the route; g_i, g_{i+1}, … – navigation marks of the satellite positioning system; e_k – e-ticket tap
Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

Для определения точки валидации электронного билета и остановочных пунктов рейса используются навигационные отметки спутникового позиционирования подвижного состава, в которых содержатся следующие данные, необходимые для решения рассматриваемой задачи: транспортное средство, скорость движения, время и координаты (широта, долгота; Latitude and Longitude) навигационной отметки.

Прохождение через остановочный пункт фиксируется по навигационным отметкам в его зоне, которая задается радиусом. Формируется траектория движения транспортных средств через остановочные пункты:

$$\boldsymbol{R}=\boldsymbol{G}\times\boldsymbol{M}=\{(g,w):g\in\boldsymbol{G},w\in\boldsymbol{M},l(g,w)\leq l_w\}, \quad (3)$$

где $l(g,w)$ – расстояние между навигационной отметкой (g) и остановочным пунктом (w);

l_w – *радиус зоны остановочного пункта.*

Скорость транспортного средства, зафиксированная в навигационной отметке в зоне остановочного пункта, может быть больше нуля. По скорости в навигационных отметках не всегда можно установить факт остановки транспортного средства. Из рисунка 3 видно, что, если время остановки транспортного средства не превышает интервала между навигационными отметками, возможны случаи, при которых в навигационных отметках будет зафиксирована ненулевая скорость транспортного средства. Для некоторых транспортных средств интервал между навигационными отметками достигает 30 с. Поэтому считается, что операция посадки-высадки пассажиров на остановке совершается независимо от скорости в навигационной отметке.

При назначении радиуса зоны остановочного пункта учитывается несколько факторов. Радиус должен быть достаточно большим, чтобы компенсировать возможные ошибки координат, погрешности системы спутникового позиционирования, а также технологические особенности остановочного пункта, в котором может быть несколько мест остановки транспорта. При недостаточном радиусе навигационные отметки спутниковой системы могут не попасть в зону остановочного пункта. С другой стороны, большой радиус может быть причиной ложного фиксирования остановочного пункта, который не находится на пути следования транспортного средства.

На рисунке 4 приведена схема элемента траектории движения транспортного средства. В рассматриваемом примере в зоне остановочного пункта расположены четыре навигационные отметки, по *j*-й навигационной отметке определяется время прибытия на остановочный пункт. Соответственно по *j+3*-й отметке устанавливается время отправления из остановочного пункта. В соответствии с данной схемой погрешность определения времени прибытия на остановочный пункт или отправления из остановочного пункта не превышает интервал между навигационными отметками.

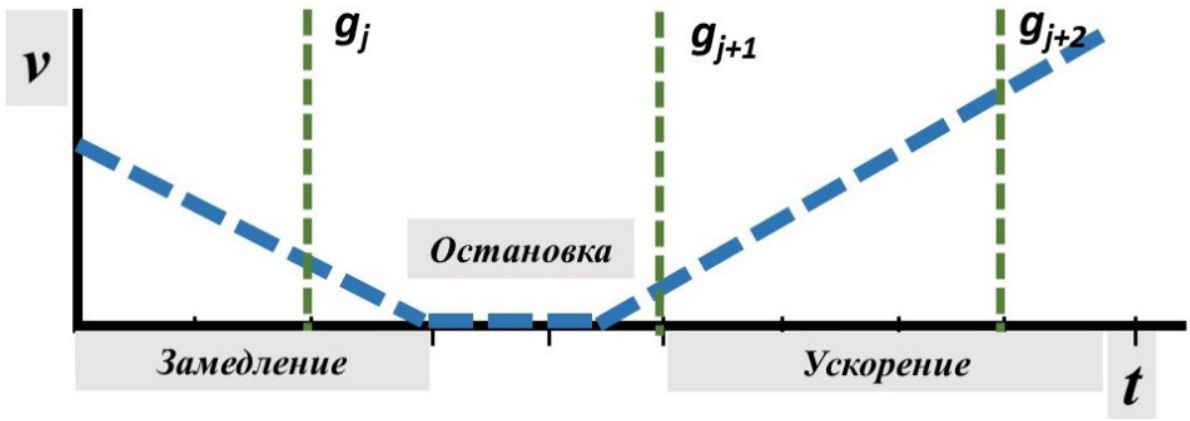


Рисунок 3 – Динамика движения транспортного средства через остановочный пункт, где g_j, … – навигационные отметки спутниковой системы позиционирования
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – The dynamics of the transport vehicle movement through the stopping point, where: g_j, ... – navigation marks of the satellite positioning system
Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

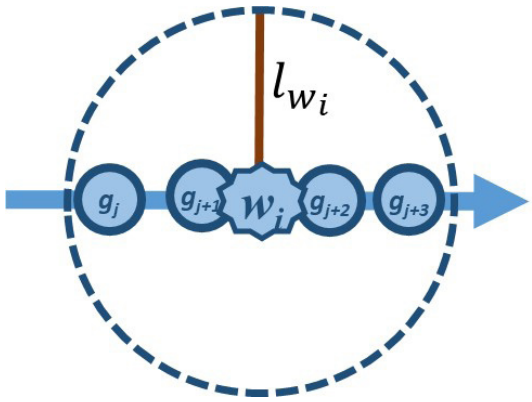


Рисунок 4 – Схема элемента траектории движения транспортного средства, где wi – остановочный пункт; gj, … – навигационные отметки в зоне остановочного пункта;

l_{w_i} *– радиус зоны остановочного пункта*

Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Elements of the transport vehicle trajectory, where: wi – stopping point; gj, … – navigation marks in the area of the stopping point;

l_{w_i} *– Stop-point zone radius*

Source: compiled by the authors.

Как упоминалось выше, на городских маршрутах, как правило, оплата проезда производится однократной валидацией электронного билета. В ранее разработанных алгоритмах [23, 25] по валидации определяется один из пунктов поездки – начальный, если оплата осуществляется в начале поездки или конечный, когда проезд оплачивается перед выходом из транспорта. В этих алгоритмах не учитываются случаи, если до оплаты пассажир проезжает более одного перегона.

В настоящей работе для расчета пассажирских корреспонденций применен подход, основанный на множестве допустимых вариантов $\boldsymbol{X}_{k+1}^{k}$ завершения *k*-й и начала *k+1*-й пассажирской корреспонденции (рисунок 5), которое формируется

$$\boldsymbol{X}_{k+1}^{k} = \boldsymbol{W}_{k}^{+} \times \boldsymbol{W}_{k+1}^{-};$$
$$l\left(w_{kj}^{+}, w_{k+1\mathrm{i}}^{-}\right) < L_p;\ w_{kj}^{+} \subset \boldsymbol{W}_{k}^{+};\ w_{k+1\mathrm{i}}^{-} \subset \boldsymbol{W}_{k+1}^{-}, \quad (4)$$

где l – евклидово расстояние между остановочными пунктами w_{ki}^{+} и w_{k+1i}^{-};

L_p – расстояние пешеходной доступности.

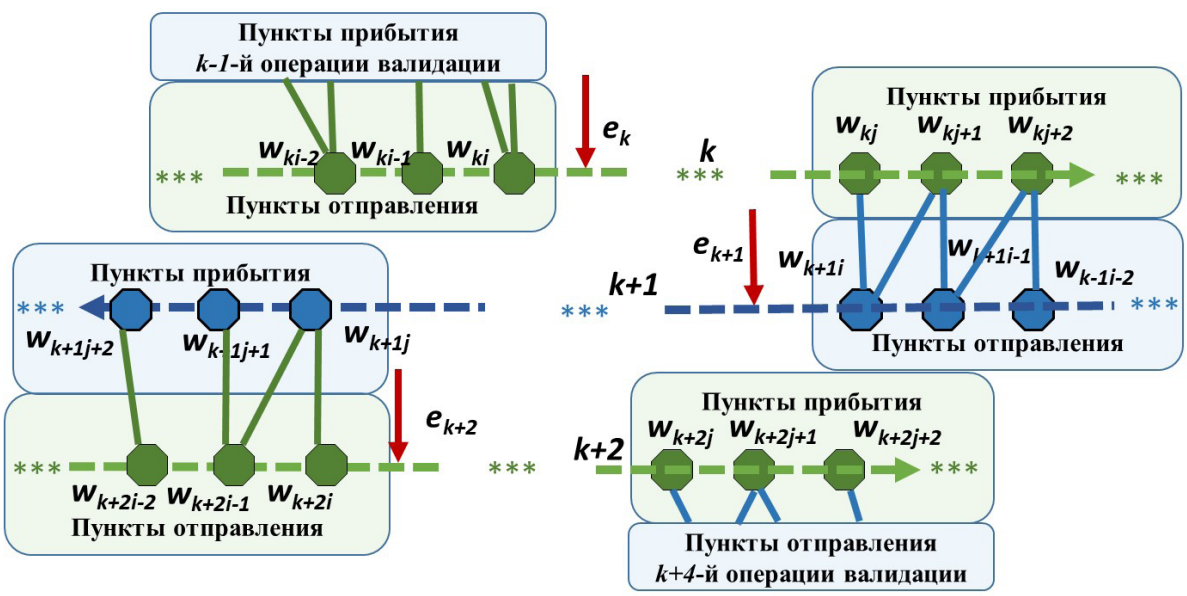


Рисунок 5 – Схема формирования вариантов пассажирских корреспонденций электронного проездного билета

Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Scheme for variants of passenger correspondence been generated

Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

Возможные варианты *k*-й пассажирской корреспонденции – это декартово произведение множеств $\boldsymbol{X}_k^{k-1}$ и $\boldsymbol{X}_{k+1}^k$. В результирующем множестве требуется определить элемент, который соответствует реальной поездке пассажира. Для этого в цепочке перемещений пассажира связанность предыдущей и последующей поездок $\boldsymbol{X}_{k+1}^k$ оценивается *J* критериями $y_1 = f_1(x), \dots, y_J(x) = f_J(x)$, составляющими вектор оценок. Z_i – шкала (множество значений) критерия f_i. Будем считать, что критерии ориентированы положительно, т. е. с ростом значений каждого критерия предпочтения возрастают.

В рассматриваемой задаче для оценки элементов множества $\boldsymbol{X}_{k+1}^k$ применяются следующие показатели (критерии):

– расстояние пешеходной доступности (евклидово расстояние между остановочными пунктами завершения предыдущей и начала следующей поездки);

– номер остановочного пункта от операции валидации (считается, что чем ближе остановочный пункт рейса к операции валидации электронного билета, тем выше вероятность начала пассажирской корреспонденции с этого пункта; в большинстве случаев пассажир оплачивает проезд сразу же после посадки в транспортное средство);

– частота использования остановочного пункта пассажиром (у пассажира имеются явно выраженные места притяжения, например дом, работа и т. д.).

Для решения задачи выбора векторный критерий «свертывается» [26]. Применяется аддитивная (5) или мультипликативная (6), (7) свертки критериев [27]:

$$F(f|v) = \sum_{j=1}^{J} v_j f_j; \quad (5)$$

$$F(f|v) = \prod_{j=1}^{J} v_j f_j; \quad (6)$$

$$F(f|v) = \prod_{j=1}^{J} f_j^{v_j}, \quad (7)$$

где v_j – значение весового коэффициента *j*-го критерия f_j.

В общем случае критерии могут иметь разные шкалы. Например, в нашем случае по-разному измеряется расстояние пешего перемещения и номер остановочного пункта от операции валидации. Критерии следует привести к сопоставимому виду, т. е. нормализовать [26]. Нормализованные критерии безразмерны, их значения, как правило, находятся в одинаковых пределах, например от 0 до 1. Обычно применяются линейные функции нормализации [26, 27], например

$$\varphi(f_i) = f_i/f_i^*; \ \varphi(f_i) = (f_i - f_{i*})/(f_i^* - f_{i*}), \quad (8)$$

где: f_i^*, f_{i*} - – наибольшее и наименьшее значения критерия $f_i(x)$ на множестве возможных вариантов.

Для некоторых показателей полезность оцениваемого варианта увеличивается при уменьшении их значений. Например, в рассматриваемой задаче наиболее предпочтительным является вариант с наименьшим расстоянием пешеходного перемещения пассажира. Для таких случаев применяется линейная функция нормализации следующего вида:

$$\varphi(f_i) = 1 - f_i/f_i^*. \quad (9)$$

Функции нормализации используемых показателей (критериев):

а) расстояние между остановочными пунктами завершения предыдущей и начала следующей поездки:

$$\varphi(l_i^p) = 1 - \frac{l_i^p}{2L_p}, l_i^p \le 2L_p; \quad (10)$$

б) номер остановочного пункта от операции валидации:

$$\varphi(n_i^e) = \begin{cases} 1 - \frac{n_i^e}{n^{e*}}, n_i^e \le n^{e*} \\ 0, n_i^e > n^{e*} \end{cases}; \quad (11)$$

в) частота использования остановочного пункта (место притяжении пассажира):

$$\varphi(w_i) = \frac{n_i^w}{n^{w*}}, \quad (12)$$

где n^{e*} – наибольший номер остановочного пункта от операции валидации; для остановочных пунктов, номер которых больше n^{e*}, критерий (11) принимает нулевое значение;

n_i^w, n^{w*} – число операций с *i*-м остановочным пунктом к общему числу операций валидации электронного билета.

Использование в выражении (10) двойного расстояния пешеходной доступности объясняется на рисунке 6. Оно учитывает перемещения между местом притяжения пассажира и остановочными пунктами отправления и прибытия.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

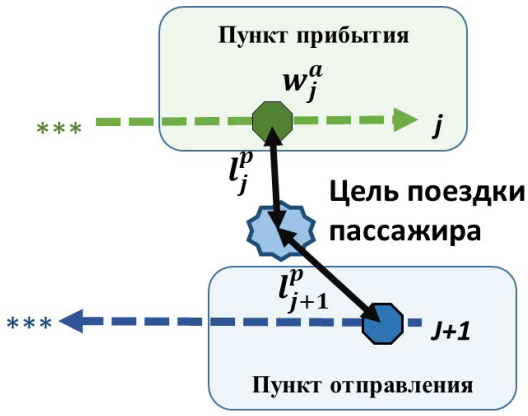


Рисунок 6 – Расчетная схема пешего движения пассажира между остановочными пунктами прибытия и отправления
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Scheme estimated passenger walking distance between alighting stopping point and next boarding one
Source: compiled by the authors.

Таким образом, имеется *l* вариантов $\boldsymbol{X}_{k+1}^{k}$ связанности *k*-й и *k+1*-й пассажирской корреспонденции. Предпочтительным является вариант, имеющий наибольшее значение агрегированного критерия (используется аддитивная свертка критериев):

$$K^{\Sigma} = v_l \varphi\left(l_i^p\right) + v_n \varphi(n_i^e) + v_w \varphi(w_i) \Rightarrow \max, \quad (13)$$

где v_l, v_n, v_w – веса критериев (10), (11), (12).

Задача определения значений весовых коэффициентов критериев v_l, v_n, v_w которые обусловливают выбор маршрутных пассажирских корреспонденций, формируемых из валидаций электронных проездных билетов. Очевидно, что результирующее множество должно соответствовать генеральной совокупности поездок пассажиров общественным транспортом. Оценку соответствия генеральной совокупности будем осуществлять по разнице между фактическими y_i $(i = \overline{1,z})$ и расчетными $f_i(v_l, v_n, v_w)$ $(i = \overline{1,z})$ параметрами пассажирских потоков. В соответствии с методом наименьших квадратов[2]:

$$\sum_i e_i^2 = \sum_i [y_i - f_i(v_l, v_n, v_w)]^2 \Rightarrow \min. \quad (14)$$

Необходимо определить минимум функции (14) по переменным весовых коэффициентов v_l, v_n, v_w. Для решения данной задачи нахождения безусловного экстремума функции нескольких переменных применяются численные методы[3], например покоординатного спуска, градиента, наискорейшего спуска, сопряженных градиентов и т. д. Существенное значение имеет вопрос наличия локальных экстремумов, для выявления которых необходимо провести исследование функции (14).

Алгоритм расчета пассажирских корреспонденций электронного проездного билета. Формирование пассажирских корреспонденций из операций валидации электронных билетов предполагает обработку больших данных: десятков миллионов операций валидаций электронных билетов и сотен миллионов навигационных данных. Для такого массива информации применяются современные реляционные системы управления базами данных (СУБД), в настоящей работе используется MS SQL Server.

Расчет пассажирских корреспонденций состоит из следующих этапов:

Этап 1. Формирование траектории движения транспортных средств осуществляется из навигационных отметок системы спутниковой навигации в соответствии с выражением (3). Для каждого транспортного средства посредством языка SQL[4] выполняется запрос, реализующий выражение (3). Из множества навигационных отметок выбираются элементы, которые находятся в зоне остановочных пунктов обслуживаемого маршрута (см. рисунок 4). Траектория движения транспортных средств описывается следующим реляционным отношением:

$$\boldsymbol{R}(\boldsymbol{A}, \boldsymbol{T}, \boldsymbol{W}, \boldsymbol{M}^r, \boldsymbol{M}^k, \boldsymbol{M}^i), \quad (15)$$

где $\boldsymbol{T}$ – время навигационной отметки;

$\boldsymbol{A}$ – транспортное средство;

$\boldsymbol{M}^r$, $\boldsymbol{M}^k$ – номер маршрута и направление движения соответственно;

$\boldsymbol{W}$ – остановочный пункт;

$\boldsymbol{M}^i$ – номер остановочного пункта в рейсе.

---

[2] Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы обработки данных. Пер. с англ. М.: Мир, 1980. 611 с.

[3] Прокопенко Н. Ю. Методы оптимизации: учеб. пособие /Н. Ю. Прокопенко; Нижегор. гос. архитектур. – строит. ун-т. Н. Новгород: ННГАСУ, 2018. 118 с. ISBN 978-5-528-00287-3.

[4] SQL - structured query language, язык структурированных запросов, декларативный язык программирования, применяемый для создания, модификации и управления данными в реляционной СУБД.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

Этап 2. Расчет допустимых вариантов связности $\boldsymbol{X}_{k+1}^{k}$ пунктов завершения текущей (*k*-й) поездки с пунктами начала следующей (*k*+1-й) поездки.

Для электронного проездного билета известно множество операций валидации, которое описывается следующим реляционным отношением:

$$\boldsymbol{E}\left(\boldsymbol{I^o}, \boldsymbol{I^t}, \boldsymbol{T}, \boldsymbol{M^r}, \boldsymbol{M^k}, \boldsymbol{A}\right), \quad (16)$$

с атрибутами:

$\boldsymbol{I^o}$ – идентификатор операции валидации электронного проездного билета $\boldsymbol{I^t}$;

$\boldsymbol{T}$ – время операции валидации;

$\boldsymbol{M^r}$, $\boldsymbol{M^k}$ – номер маршрута и направление движения соответственно;

$\boldsymbol{A}$ – идентификатор транспортного средства.

Элемент данного множества – это кортеж отношения, который обозначается как $e(i^o,i^t,t,m^r,m^k,a)$ или e_k (*k*-я операция валидации).

Из операции валидации известен номер маршрута ($e_k.m^r$). Рейс поездки пассажира $e_k.m^k$ определяется направлением движения по маршруту $d_k.m^k$, которое устанавливается из траектории движения транспортного средства (сформированной на этапе 1).

В соответствии с выражением (4) для текущей (*k*-й) пассажирской корреспонденции формируется множество допустимых вариантов связности $\boldsymbol{X}_{k+1}^{k}$ пунктов завершения текущей (*k*-й) поездки с пунктами начала следующей (*k*+1-й) поездки.

Этап 2 состоит из следующих операций:

2.1. Определение ближайшего остановочного пункта w_{k1}^{-} ($w_{k1}^{-} \subset \boldsymbol{W_k^-}$), расположенного перед точкой валидации проездного билета e_k, и первого остановочного пункта после данной точки w_{k1}^{+} ($w_{k1}^{+} \subset \boldsymbol{W_k^+}$). Если операция валидации выполнена на остановочном пункте, $w_{k1}^{-} = w_{k1}^{+}$ w_{k1}^{-} и w_{k1}^{+} определяются из фактической траектории транспортного средства по времени выполнения операции валидации:

Ближайший остановочный пункт перед операцией валидации

$$min(r_a.t); r_a.t \geq e_k.t; r_a \subset \boldsymbol{R}_a, \quad (17)$$

первый остановочный пункт после операции валидации

$$max(r_a.t); r_a.t \leq e_k.t; r_a \subset \boldsymbol{R}_a, \quad (18)$$

где r_a – кортеж отношения фактической траектории движения $\boldsymbol{R}_a$-го транспортного средства;

$e_k.t$ – время выполнения *k*-й операции валидации.

2.2. В соответствии с выражением (5) формируется множество допустимых вариантов связности $\boldsymbol{X}_{k+1}^{k}$ пунктов завершения текущей (*k*-й) поездки с пунктами начала следующей (*k*+1-й) поездки, которое описываются следующим реляционным отношением:

$$\boldsymbol{X}\left(\boldsymbol{I^x}, \boldsymbol{I_k^v}, \boldsymbol{W_k}, \boldsymbol{M_k^i}, \boldsymbol{M_k^v}, \boldsymbol{I_{k+1}^v}, \boldsymbol{W_{k+1}}, \boldsymbol{M_{k+1}^i}, \boldsymbol{M_{k+1}^v}, \boldsymbol{L^p}\right), \quad (19)$$

где $\boldsymbol{I^x}$ – идентификатор варианта;

$\boldsymbol{I_k^v}, \boldsymbol{I_{k+1}^v}$ – идентификатор *k*-й и *k*+1-й операции валидации соответственно;

$\boldsymbol{W_k}$, $\boldsymbol{W_{k+1}}$ – идентификатор остановочного пункта *k*-й и *k*+1-й операции валидации соответственно;

$\boldsymbol{M_k^i}$, $\boldsymbol{M_{k+1}^i}$ – номер остановочного пункта в рейсе по маршруту *k*-й и *k*+1-й операции валидации соответственно;

$\boldsymbol{M_k^v}$ – номер ближайшего остановочного пункта, расположенного в маршруте после *k*-й операции валидации;

$\boldsymbol{M_{k+1}^v}$ – номер ближайшего остановочного пункта, расположенного в маршруте перед *k*+1-й операцией валидации;

$\boldsymbol{L^p}$ – евклидово расстояние между пунктами $\boldsymbol{W_k}, \boldsymbol{W_{k+1}}$.

2.3. Для каждого элемента множества $\boldsymbol{X}_{k+1}^{k}$ рассчитываются значения оценочных критериев в соответствии с выражениями (10), (11) и (12), которые представлены следующим реляционным отношением:

$$\boldsymbol{\Phi}\left(\boldsymbol{I}, \boldsymbol{\Phi^l}, \boldsymbol{\Phi^n}, \boldsymbol{\Phi^w}\right), \quad (20)$$

где $\boldsymbol{\Phi^l}, \boldsymbol{\Phi^n}, \boldsymbol{\Phi^w}$ – значение соответствующего оценочного критерия: расстояния пешеходной доступности, номера остановочного пункта от операции валидации и удельного веса использования остановочного пункта пассажиром.

Этап 3. Расчет пассажирских корреспонденций. В соответствии с выражением (13) для каждого элемента множества $\boldsymbol{X}_{k+1}^{k}$ рассчитывается агрегированный критерий и по его наибольшему значению выбирается пункт завершения *k*-й и пункт начала *k*+1-й поездок пассажира. Веса критериев v_l, v_n, v_w считаются известными.

В результате формируются маршрутные пассажирские корреспонденции электронного билета, которые описываются реляционном отношением

$$\boldsymbol{P}\left(\boldsymbol{I^v}, \boldsymbol{M^r}, \boldsymbol{M^k}, \boldsymbol{W^a}, \boldsymbol{T^a}, \boldsymbol{W^d}, \boldsymbol{T^d}, \boldsymbol{L}\right), \quad (21)$$

где $\boldsymbol{I^v}$ – идентификатор операции валидации;

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

$\boldsymbol{M^r, M^k}$ – номер маршрута и направление движения соответственно;

$\boldsymbol{W^a, W^d}$ – идентификатор остановочного пункта начала и завершения пассажирской корреспонденции соответственно;

$\boldsymbol{T^a, T^d}$ – время начала и завершения пассажирской корреспонденции соответственно;

$\boldsymbol{L}$ – длина корреспонденции.

Длина пассажирской корреспонденции рассчитывается как сумма длин перегонов между пунктами начала и окончания корреспонденции в соответствии с рейсом транспортного средства. Время начала и завершения корреспонденции определяется из фактической траектории движения транспортного средства.

Как упоминалось выше, пассажир может выполнять поездки, которые не фиксируются в операциях валидации электронного билета, например такси. В этом случае прерывается цепочка поездок по электронному билету, некоторая часть операций валидации остается неинтерпретированой.

Этап 4. Расчет коэффициентов балансировки для учета неинтерпретированных пассажирских корреспонденций.

Для каждой неинтерпретированной пассажирской корреспонденции известна точка маршрута операции валидации электронного билета. Расчет коэффициентов балансировки осуществляется исходя из числа отправлений пассажира в рамках транспортного района (transportation analysis zones, TAZ) операции валидации. Расчет коэффициентов балансировки производится для каждой неинтерпретированной операции валидации следующим образом:

4.1. Рассчитывается число отправлений n^a и прибытий n^d пассажирских коррепонденций по транспортному району операции валидации, определенному радиусом, равным расстоянию пешеходной доступности L_p.

4.2. При расчете коэффициента балансировки учитывается условие, в соответствии с которым число отправлений пассажира из транспортного района должно соответствовать числу прибытий, т. е. n^a=n^d.

Коэффициент балансировки определяется для интерпретированных операций электронного проездного следующим образом:

$$\phi_k = \phi'_k + \frac{1}{n^a}, \text{если} n^a < n^d, l(e_k, p_k.i^a) \le L_p, \quad (22)$$

$$\phi_k = \phi'_k + \frac{1}{n^d}, \text{если} n^a < n^d l(e_k, p_k.i^d) \le L_p, \quad (23)$$

$$\begin{cases} \phi_k = \phi'_k + \frac{1}{2n^a}, \text{если} n^a = n^d, l(e_k, p_k.i^a) \le L_p \\ \phi_k = \phi'_k + \frac{1}{2n^d}, \text{если} n^a = n^d l(e_k, p_k.i^d) \le L_p \end{cases}, \quad (24)$$

если n^a≠0 и n^d≠0,

где ϕ'_k – текущее значение коэффициента балансировки *k*-й корреспонденции электронного билета (в начале расчета $\phi'_k = 1$);

n^a – количество корреспонденций электронного билета с начальным пунктом на расстоянии пешеходной доступности от e_k;

n^d – количество корреспонденций электронного билета с конечным пунктом на расстоянии пешеходной доступности от e_k;

$l(e_k,p_k.i^a)$ расстояние между точкой валидации e_k и остановочным пунктом $p_k.i^a$ (евклидова длина прямой между остановочными пунктами).

В соответствии с выражениями (22) – (24) каждая неинтерпретированная валидация балансируется через интерпретированные операции транспортного района следующим образом:

– число отправлений увеличивается на 1, если прибытий n^a больше, чем оправлений n^d;

– если прибытий меньше, чем отправлений – на 1 увеличивается число прибытий;

– если n^a=n^d, число отправлений и прибытий увеличивается на 0,5.

Для случаев n^a=0 или n^d=0 коэффициент балансировки рассчитывается в рамках маршрута при расчете удельного веса поездок по электронным проездным билетам.

Этап 5. На основании маршрутных поездок (21) выполняется *расчет сетевых корреспонденций*. Алгоритм расчета приведен в [23, 25].

Определение спроса на общественный транспорт. Транспортный спрос представляется в виде матриц межостановочных маршрутных (ММК) или сетевых (МСК) пассажирских корреспонденций[5], которые формируются как некая усредненная модель потребности населения в передвижениях по транспортной сети:

[5] Online TDM Encyclopedia – Sustainable Transportation and TDM [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://codot.gov/projects/i70mountaincss/assets/docs/pdfs/online-tdm-encyclopedia-sustainable-transportation.pdf (дата обращения 21.05.2022)

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

$$\boldsymbol{Q} = \|T_{ij}\|; i,j = 1,\ldots,n, \quad (25)$$

где T_{ij} – количество передвижений пассажиров, совершаемых за интересующий период времени между пунктами *i,j*.

Рассмотрим *порядок определения ММК* из операций валидации электронных билетов. При расчете ММК необходимо учесть удельный вес поездок по электронным билетам и нераспознанные операции валидации. Расчет количества поездок между пунктами *ij* осуществляется следующим образом:

$$T_{ij} = \sum m \sum_{\substack{p_k.i^a=i \\ p_k.i^d=j \\ p_k.m^r=m}} \frac{\phi_k}{\alpha_m^r}, \quad (26)$$

где ϕ_k, – коэффициент балансировки *k*-й пассажирской корреспонденции, посредством которого учитываются неинтерпретированные операции валидации ($\phi_k \geq 1$);

$p_k.i^a$, $p_k.i^d$ – пункт отправления и прибытия *k*-й пассажирской корреспонденции соответственно;

α_m^r – удельный вес перевозок по электронным билетам по *m*-му маршруту [28] ($0 < \alpha_m^r \leq 1$).

$$\alpha_m^r = (Q'_m - q_m)/Q_m, \quad (27)$$

где, Q'_m, Q_m – количество пассажиров, перевезенных по электронным билетам и общее количество пассажиров *m*-го маршрута соответственно;

q_m – число несбалансированных неинтерпретированных корреспонденций по *m*-му маршруту.

3. Практическая реализация.

Апробация рассматриваемой методики осуществлена по данным системы общественного транспорта г. Красноярска за апрель 2019 г., предоставленных МКУ «Красноярскгортранс». Эта информация использована в работах [23, 25] с описанием предыдущего варианта методики мониторинга спроса общественного транспорта из валидаций электронных проездных билетов, что позволяет объективно оценить эффективность нового варианта методики.

МКУ «Красноярскгортранс» в формате СУБД MS SQL Server предоставлена следующая информация:

– навигационные данные спутникового позиционирования транспортных средств (таблица 2);

– описание маршрутной сети (таблица 3 и 4);

– операции валидации электронных проездных билетов (таблица 5).

Объем данных: 144 млн навигационных отметок системы спутникового позиционирования и более 6 млн операций валидации электронных билетов.

Таблица 2

Фрагмент навигационных отметок системы спутникового позиционирования, где *Lat, Long* – координаты (широта и долгота); *V* – скорость транспортного средства

Источник: составлено авторами.

Table 2

Fragment of navigation marks of the satellite positioning system, where: *Lat, Long* – coordinates (latitude and longitude); *V* – vehicle speed

Source: compiled by the authors.

A	M^r	*T*	*Lat*	*Long*	*V*
ЕВ 687	64	20.04.2019 5:15:19	56,04376	92,783055	7
ЕВ 687	64	20.04.2019 5:15:29	56,04374	92,782662	10
ЕВ 687	64	20.04.2019 5:15:39	56,04387	92,78243	9
ЕВ 687	64	20.04.2019 5:15:49	56,04395	92,782273	6
ЕВ 687	64	20.04.2019 5:15:59	56,04405	92,78205	2
ЕВ 687	64	20.04.2019 5:16:09	56,04419	92,781848	7
ЕВ 687	64	20.04.2019 5:16:19	56,04432	92,781655	7
ЕВ 687	64	20.04.2019 5:16:29	56,04441	92,78137	7
ЕВ 687	64	20.04.2019 5:16:39	56,04433	92,781105	7
ЕВ 687	64	20.04.2019 5:16:49	56,04418	92,780775	8
***					

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Таблица 3
Фрагмент списка остановочных пунктов,
где *id* – идентификатор; *Nm* – наименование; *Lat, Long* – координаты (широта и долгота)
Источник: составлено авторами.

Table 3
Fragment of stopping points list,
where: *id* – identifier; *Nm* – name; *Lat, Long* – coordinates (latitude and longitude)
Source: compiled by the authors.

id	*Nm*	*Lat*	*Long*
25	Школа (ул. Судостроительная)	55,982063	92,833626
27	ЛДК	55,983582	92,883812
29	Студенческая (ул. Свердловсквая)	55,983150	92,879295
32	Художественное училище	55,981358	92,862823
33	Хлебозавод (ул. Свердловская)	55,980495	92,856873
35	Юбилейная (ул. Свердловская)	55,979836	92,850945
37	Октябрьская (ул. Свердловская)	55,978786	92,841217
39	Станция «Енисей»	55,978127	92,835556
41	ОАО «Красфарма» (ул. Свердловская)	55,976963	92,820518
***			

Таблица 4
Фрагмент рейсов маршрутов, где *L* – длина перегона; L^{Σ} – накопленная длина с начала маршрута
Источник: составлено авторами.

Table 4
Fragment of route trips, where: *L* – the length of the section; L^{Σ} – accumulated length from the beginning of the route
Source: compiled by the authors.

M^r	M^k	M^i	*W*	*L*	L^{Σ}
10	A	8	66	0,2644	3,0087
10	A	9	95	0,2760	3,2848
10	A	10	116	0,4940	3,7788
10	A	11	118	0,8018	4,5806
10	A	12	120	0,5833	5,1640
10	A	13	122	0,4393	5,6033
***					

Таблица 5
Фрагмент операций валидации электронных проездных билетов
Источник: составлено авторами.

Table 5
Fragment of e-ticket validation operations
Source: compiled by the authors.

I^o	I^t	*T*	M^r	M^k	*A*
13119511	100010324	10.04.19 15:34:46	58		М 931 КК
13119512	100010324	10.04.19 17:23:06	95		ЕВ 512
13119513	100010324	17.04.19 15:09:36	85		ЕЕ 183
13119514	100010324	18.04.19 9:23:22	61		К 119 ОЕ
13119515	100010324	23.04.19 8:51:17	61		К 721 НР
13119516	100010324	02.04.19 17:58:22	95		ЕВ 986
13119526	100010324	12.04.19 14:41:06	95		ЕВ 988
13119527	100010324	14.04.19 14:49:29	95		ЕВ 976
13119528	100010324	18.04.19 10:18:40	94		Х 724 НХ
***					

Примечание. Направление движения по маршруту M^k определяется в процессе расчета из траектории движения транспортного средства (таблица 7).

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Разработанная компьютерная программа расчета пассажирских корреспонденций из операций валидаций электронных проездных билетов состоит из основных разделов, представленных в таблице 6.

Фрагмент фактической траектории движения транспортных средств через остановочные пункты обслуживаемого маршрута (этап 1 расчетов) приведен в таблице 7. В расчетах использован радиус зоны остановочного пункта 175 м, если интервал между навигационными отметками больше 30 с, и 100 м – при меньших значениях интервала.

Таблица 6

Разделы (подсистемы) компьютерной программы расчета пассажирских корреспонденций из операций валидаций электронных проездных билетов городского общественного транспорта

Источник: составлено авторами.

Table 6

Sections (subsystems) of a computer program for calculating passenger correspondence from the operations of validating electronic travel tickets for urban public transport

Source: compiled by the authors.

Раздел	Описание	Время расчета, ч*
Этап 1	Формирование фактической траектории движения транспортных средств через остановочные пункты обслуживаемого маршрута	5
Этап 2	Определение допустимых вариантов связности $\boldsymbol{X}_{k+1}^{k}$ пунктов завершения текущей (k-й) поездки с пунктами начала следующей (k+1-й) поездки. Расчет оценочных показателей	50
Этап 3	Расчет пассажирских корреспонденций	4
Этап 4	Расчет коэффициентов балансировки, для учета неинтерпретированных пассажирских корреспонденций	4
Этап 5	Расчет сетевых пассажирских корреспонденций	5

Примечание. *Ориентировочное время рассматриваемого тестового примера на компьютере Intel Core i7 2.80GHz, ОП 16,0 ГБ, Windows 10 Pro.

Таблица 7

Фрагмент траектории движения транспортных средств

Источник: составлено авторами.

Table 7

Fragment of the vehicles movement

Source: compiled by the authors.

A	*T*	*W*	M^r	M^k	M^i
3	21.04.19 12:16:00	335	6тр	A	19
3	21.04.19 12:16:00	336	6тр	B	11
3	21.04.19 12:16:10	335	6тр	A	19
3	21.04.19 12:16:10	336	6тр	B	11
3	21.04.19 12:16:20	335	6тр	A	19
3	21.04.19 12:16:20	336	6тр	B	11
3	21.04.19 12:16:30	335	6тр	A	19
3	21.04.19 12:16:30	336	6тр	B	11
***					

В таблице 8 приведен фрагмент допустимых вариантов связности $\boldsymbol{X}_{k+1}^{k}$ пунктов завершения текущей (*k*-й) поездки с пунктами начала следующей (*k*+1-й) поездки, полученных в результате 2-го этапа расчета. Для каждого варианта связности осуществляется расчет оценочных показателей (таблица 9). При известных весовых коэффициентах v_l, v_n, v_w можно определить интегральный критерий Φ^{Σ}, по наибольшему значению которого осуществляется выбор варианта связности x_{k+1}^{k} цепочки поездок по электронному проездному билету и на этой основе формируются пассажирские корреспонденции (см. рисунок 5).

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Таблица 8

Допустимые варианты связности X_{k+1}^{k} пунктов завершения текущей поездки с пунктами начала следующей поездки (фрагмент)
Источник: составлено авторами.

Table 8

Possible options for connecting X_{k+1}^{k} the alighting points of the current trip with the boarding points of the next trip (fragment)
Source: compiled by the authors.

I^x	I_k^v	W_k	M_k^i	M_k^v	I_{k+1}^v	W_{k+1}	M_{k+1}^i	M_{k+1}^v	L^p
29030	13119546	741	29	9	13119524	742	30	30	0,04
30029	13119546	743	30	9	13119524	744	29	30	0,05
28030	13119546	739	28	9	13119524	742	30	30	0,45
31028	13119546	745	31	9	13119524	746	28	30	0,04
30030	13119546	743	30	9	13119524	742	30	30	0,59
32028	13119546	751	32	9	13119524	746	28	30	0,24
32027	13119546	751	32	9	13119524	752	27	30	0,07
31029	13119546	745	31	9	13119524	744	29	30	0,53
29029	13119546	741	29	9	13119524	744	29	30	0,55
***									

Таблица 9

Результаты расчета значений оценочных критериев (фрагмент)
Источник: составлено авторами.

Table 9

Results of calculating the evaluation criteria values (fragment)
Source: compiled by the authors.

I^x	Φ^l	Φ^n	Φ^w	Φ^Σ
29030	0,96	1,00	0,03	1,98
30029	0,95	0,80	0,00	1,75
28030	0,55	1,00	0,03	1,57
31028	0,96	0,60	0,00	1,56
30030	0,41	1,00	0,03	1,43
32028	0,76	0,60	0,00	1,36
32027	0,93	0,40	0,00	1,33
31029	0,47	0,80	0,00	1,27
29029	0,45	0,80	0,00	1,25
33026	0,97	0,20	0,00	1,17
30028	0,51	0,60	0,00	1,11
31027	0,71	0,40	0,00	1,11
32029	0,29	0,80	0,00	1,09
34024	1,00	0,00	0,00	1,00
***				

Для расчета пассажирских корреспонденций требуется определить значения весовых коэффициентов v_l, v_n, v_w таким образом, чтобы результирующее множество поездок пассажиров, полученных из операций валидации электронных проездных билетов, в максимальной степени соответствовало генеральной совокупности поездок общественным транспортом. Оценку параметров генеральной совокупности будем выполнять по результатам натурного обследования пассажирских потоков.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

Данные автоматизированного учета получены от МКУ «Красноярскгортранс». Выборочное обследование пассажиропотоков по 5 маршрутам осуществлено в апреле 2019 г. (в период, за который произведена обработка валидаций проездных билетов). Учет пассажиров выполнен с использованием специального оборудования, смонтированного в транспортных средствах. Объем данных составляет более 281 тыс. пассажиров, обследовано 6938 рейсов.

Сформируем две выборки маршрутных пассажирских корреспонденций: из валидаций электронных билетов (выборка 1) и натурного обследования пассажиропотоков (выборка 2). В качестве критерия соответствия данных выборок рассматривается квадрат разницы удельного веса входящих и выходящих пассажиров на остановочных пунктах маршрутов:

$$F(v_l, v_n, v_w) = \sum_i \sum_k \sum_j (q^v_{ikj} - q^*_{ikj})^2 \Rightarrow min, \quad (28)$$

где q^v_{ikj}, q^*_{ikj} – удельный вес входящих или выходящих пассажиров на *j*-м остановочном пункте *k*-го направления *i*-го маршрута, определенный из валидаций электронных билетов и натурного обследования пассажирских потоков соответственно.

Таким образом, необходимо установить минимум функции (32) по переменным весовых коэффициентов v_l, v_n, v_w. Проведем исследование функции (32), для этого построим график зависимости значений функции от переменных v_l, v_n, v_w.

Как упоминалось выше, расчет пассажирских корреспонденций осуществляется на основе допустимых вариантов связности пунктов завершения текущей поездки с пунктами начала следующей поездки. Для исследования функции (28) этап 3 расчета пассажирских корреспонденций выполняется при различных значениях переменных v_l, v_n, v_w, которые варьируются от 0 до 2,5 (см. таблицу 10, рисунок 7).

По результатам проведенного исследования можно заключить:

1. Точка минимума функции – это v_l=1; v_n=1; v_w=0. Значение интегрального критерия в точке минимума составляет 0,203.

2. Наибольшее влияние оказывает фактор расстояния между остановочными пунктами завершения предыдущей и начала следующей поездок (v_l). При исключении данного фактора v_l=0 критерий соответствия пассажирских корреспонденций из валидаций электронных билетов генеральной совокупности поездок ухудшается в 2 раза по сравнению с точкой минимума.

3. Номер остановочного пункта от операции валидации является вторым фактором по влиянию на критерий соответствия пассажирских корреспонденций генеральной совокупности. При v_n=0 критерий соответствия ухудшается на 75% (с 0,203 до 0,355).

4. Функция (28) не зависит от оценки частоты использования остановочного пункта (см. таблицу 10).

С использованием полученных значений весовых коэффициентов v_l, v_n, v_w выполнен расчет пассажирских корреспонденций. Сравним полученные результаты с предыдущим вариантом методики [23, 25], который будем называть методика 1, в отличие от методики, рассматриваемой в настоящей статье (методики 2). В таблице 11 приведено распределение операций валидации электронных билетов по дням апреля 2019 г., количество интерпретированных операций по обеим методикам. Из таблицы видно, что обе методики обеспечивают определение практически одинакового числа пассажирских корреспонденций: удельный вес интерпретированных операций составляет порядка 65%, если исключить три последних дня периода. К концу расчетного периода имеется тенденция снижения удельного веса распознанных операций, что объясняется отсутствием в базе данных операций валидации следующего месяца, связанных с поездками текущего периода.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Таблица 10
Результаты исследования функции (28)
Источник: составлено авторами.

Table 10
Results of function (32)
Source: compiled by the authors.

v_i	$f(v_l \vee v_n = 1; v_w = 1)$	$f(v\|n \vee v_l = 1; v_w = 1)$	$f(v\|w \vee v_l = 1; v_n = 1)$
0	0,423	0,355	0,203
0,5	0,216	0,226	
1	0,204	0,204	0,204
1,5	0,219	0,205	
2	0,227	0,207	
2,5		0,207	
Экстремум: v_l=1; v_n=1; v_w=0			0,203

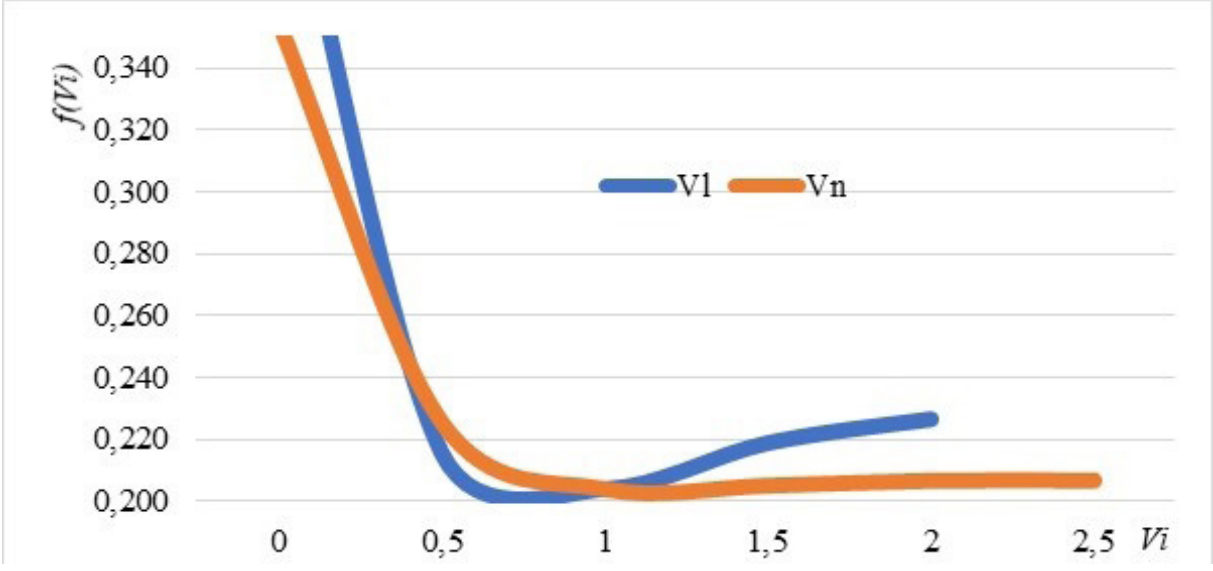


Рисунок 7 – Зависимость функции (28) от переменных v_l, v_n
Источник: составлено авторами.

Figure 7 – Dependence of the function (28) on v_l, v_n variables
Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Таблица 11
Результаты обработки операций валидаций электронных проездных билетов общественного транспорта г. Красноярска (апрель, 2019 г.)
Источник: составлено авторами.

Table 11
The results of processing validation operations of e-tickets in public transport of Krasnoyarsk city (April, 2019)
Source: compiled by the authors.

День месяца	Обработано валидаций				
	Всего	Интерпретировано (методика 1)		Интерпретировано (методика 2)	
		Кол-во	Уд.вес, %	Кол-во	Уд.вес, %
1	238789	152391	63,8	155108	65,0
2	253128	163643	64,6	165786	65,5
3	250250	163477	65,3	166549	66,6
4	253132	162679	64,3	165500	65,4
5	252721	160034	63,3	162598	64,3
6	164948	101464	61,5	102695	62,3
7	124539	77113	61,9	76973	61,8
8	238016	155675	65,4	156684	65,8
9	248460	163578	65,8	164200	66,1
10	247446	161197	65,1	162488	65,7
11	247844	163009	65,8	163103	65,8
12	242969	158770	65,3	158524	65,2
13	155113	101079	65,2	101240	65,3
14	116213	76060	65,4	75782	65,2
15	238363	155945	65,4	155781	65,4
16	255730	167073	65,3	166747	65,2
17	257936	168971	65,5	168661	65,4
18	239022	156863	65,6	156908	65,6
19	232266	149428	64,3	149298	64,3
20	160447	102859	64,1	102516	63,9
21	129981	85581	65,8	85938	66,1
22	241130	156714	65,0	157424	65,3
23	259047	164047	63,3	166277	64,2
24	235845	151504	64,2	153254	65,0
25	243887	156387	64,1	158725	65,1
26	235609	147355	62,5	149348	63,4
27	139348	85765	61,5	86398	62,0
28	116055	69071	59,5	69318	59,7
29	216090	125869	58,2	126819	58,7
30	231156	88322	38,2	85910	37,2
∑	6465480	4091923	63,3	4116552	63,7

Как упоминалось выше, в методике 1 началом пассажирской корреспонденции считается остановочный пункт, предшествующий операции валидации. Это не всегда соответствует практике, пассажиры до оплаты поездки могут проехать одну-две остановки.

На некоторых маршрутах принято собирать плату за проезд перед выходом пассажира из транспортного средства. В этом случае остановочный пункт перед операцией валидации является завершением пассажирской корреспонденции. В методике 1 используются оценочные критерии для определения случаев валидации в конце поездки, которые существенно усложняют алгоритм.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

В методике 2 отсутствует жесткая привязка к операции валидации пунктов начала и завершения корреспонденции. На рисунке 8 приведено распределение пассажирских корреспонденций по номеру остановочного пункта начала поездки от точки валидации электронного проездного билета. Из рисунка видно, что порядка 90% пассажиров осуществляют оплату за проезд на первом перегоне после посадки. Одну остановку до оплаты проезжает 5,4% пассажиров, 2 остановки – 2,1%. В конце проезда оплату осуществляют не более 5% пассажиров, такой способ сегодня в г. Красноярске практикуется на одном-двух маршрутах, на которых работают автобусы малого класса.

В таблице 12 приведен фрагмент пассажирских корреспонденций, сформированных посредством двух рассматриваемых методик. Из таблицы видно, что в некоторых корреспонденциях, сформированных по методике 2, пункт завершения отличается от методики 1. Это, например, корреспонденции 13119511 и 13119515, остановочные пункты завершения которых, определенные по методике 2, расположены на меньшем расстоянии пешеходного перемещения к остановке начала следующей поездки по сравнению с методикой 1. Также некоторые корреспонденции (например 13119512) имеют разные начальные остановочные пункты, поскольку в методике 2 начало пассажирской корреспонденции не обязательно ближайший пункт к операции валидации электронного проездного билета. Большая часть пассажирских корреспонденций, сформированных по методике 1 и методике 2 совпадают, поскольку, как упоминалось выше, порядка 90% пассажиров оплачивают проезд сразу же после посадки в транспортное средство, что отражается в обеих методиках. Длина пассажирских корреспонденций, сформированных по методикам 1 и 2, различается незначительно (на 1–2 км).

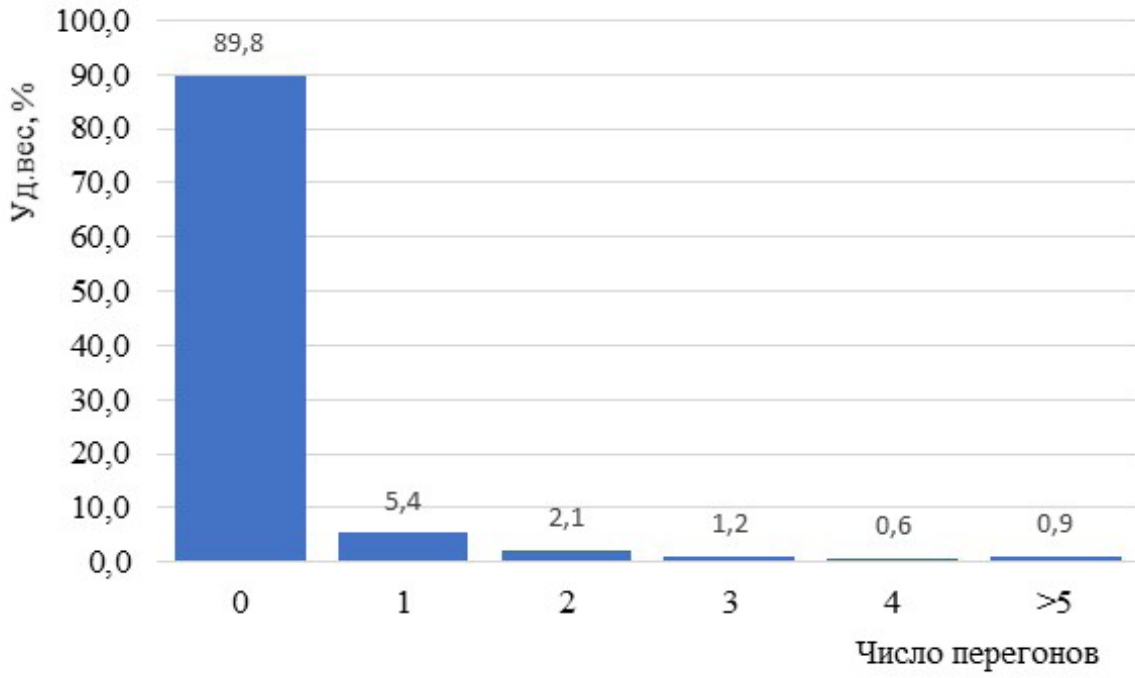


Рисунок 8 – Распределение пассажирских корреспонденций по номеру остановочного пункта начала поездки от точки валидации электронного проездного билета
Источник: составлено авторами.

Figure 8 – Distribution of passenger correspondence by the number of the stopping point passed before the operation of validating electronic ticket took a place
Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

На рисунке 9 приведена схема связей начальных и конечных остановочных пунктов пассажирских корреспонденций двух электронных проездных билетов. На схеме радиус окружности пропорционален количеству прибытий или отправлений пассажира, пункты отправления обозначены розовым цветом, прибытия – синим. На схеме остановочный пункт с наибольшим числом отправлений (с наибольшим радиусом окружности) расположен вблизи места жительства пассажира. Остановочный пункт с наибольшим числом прибытий – это основное место притяжения пассажира (работа, учеба и т. д.). Кроме этого, можно выделить остановочные пункты культурно-бытовых корреспонденций, выполняемых с разной периодичностью.

На рисунке 10 дано распределение количества перевезенных пассажиров по часам буднего дня, определенное из валидаций электронных билетов по методикам 1 и 2 (2019 г) и сплошного обследования пассажирских потоков (2011 г.) общественного транспорта г. Красноярска. Из рисунка видно, что поездки пассажиров по электронным билетам соответствуют динамике пассажирских потоков по часам суток из натурного обследования. Некоторые расхождения объясняются изменениями в структуре транспортного спроса, произошедшие с 2011 г.

В таблице 13 приведено распределение пассажирских корреспонденций по длине поездки. Из таблицы можно сделать вывод об одинаковой зависимости удельного веса поездок от длины пассажирских корреспонденций, полученных по методикам 1 и 2, а также из натурных обследований пассажирских потоков. Средняя дальность поездки пассажиров составляет 6,29 км по данным валидаций электронных проездных билетов и 6,66 км из обследования 2006 г. Разница в 5,6% между средней дальностью поездки пассажира в 2006 и 2019 гг. объясняется изменением системы маршрутов и спроса общественного транспорта.

Таблица 12

Список сформированных маршрутных корреспондентов с использованием методик 1 и 2 (фрагмент)

Источник: составлено авторами.

Table 12

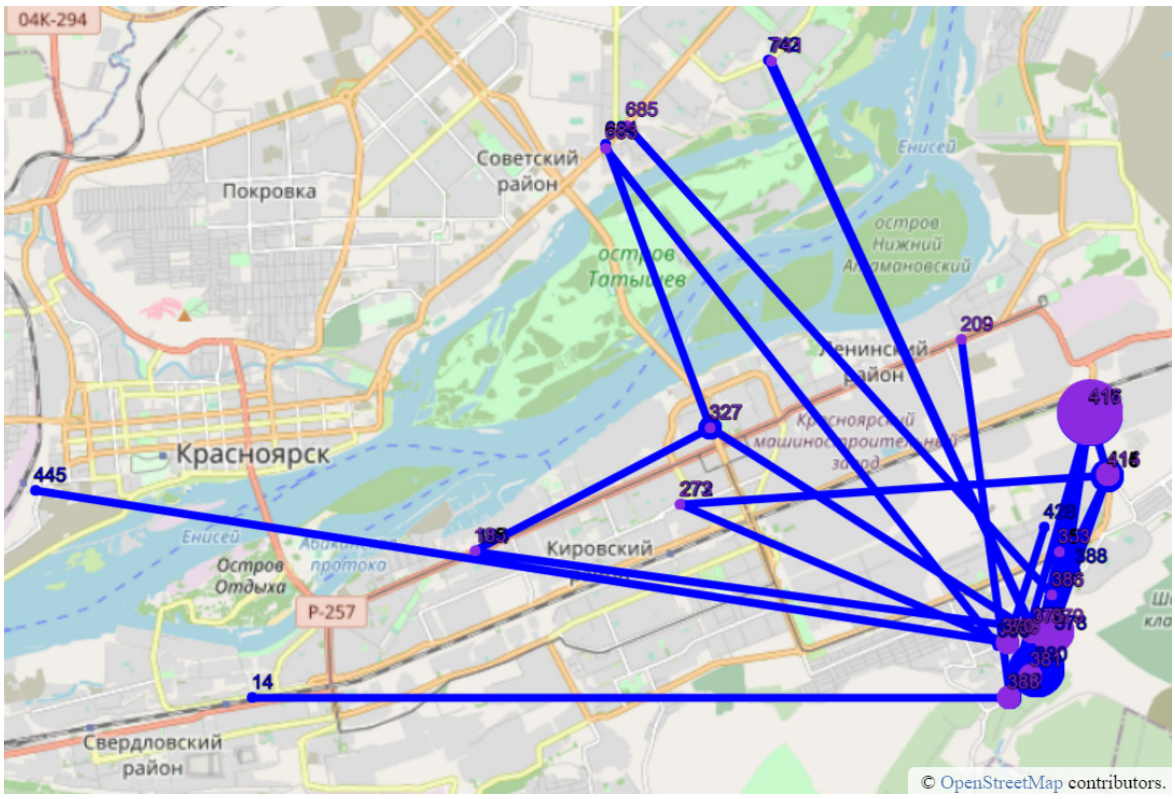
List of generated trips using methods 1 and 2 (fragment)

Source: compiled by the authors.

Методика	Идентификатор	Маршрут IdSt*		Начало		Конец		Расстояние, км	
				Время	IdSt*	Время	Поездки	Пешее	
1	13119511	58	B	327	15:34	267	15:43	2,8	0,48
2	13119511	58	B	327	15:34	185	15:48	4,4	0,04
1	13119512	95	A	190	17:23	379	18:03	10,8	0,09
2	13119512	95	A	184	17:19	379	18:03	12,0	0,09
1	13119513	85	A	428	15:09	369	15:18	2,9	0,12
2	13119513	85	A	428	15:09	369	15:18	2,9	0,12
1	13119514	61	B	368	9:23	683	9:47	9,7	0,05
2	13119514	61	B	368	9:23	683	9:47	9,7	0,05
1	13119515	61	B	368	8:51	683	9:16	9,7	0,05
2	13119515	61	B	386	8:46	685	9:17	11,2	0,02
1	13119516	95	A	413	17:58				
2	13119516	95	A	415	17:56	379	18:04	2,3	0,09
1	13119517	85	B	382	8:22	416	8:45	7,0	0,02
2	13119517	85	B	382	8:20	416	8:41	7,0	0,02
1	13119518	78	A	417	14:41	353	14:45	2,0	0,33
2	13119518	78	A	417	14:40	353	14:45	2,0	0,33
1	13119519	61	A	327	10:43	375	11:00	6,3	0,44
2	13119519	61	A	327	10:42	375	11:00	6,3	0,44
1	13119520	95	B	380	11:55	416	12:04	3,6	0,02
2	13119520	95	B	380	11:54	416	12:04	3,6	0,02

Примечание. IdSt – идентификатор остановочного пункта.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal



а

б

Рисунок 9 – Схема связей начальных и конечных остановочных пунктов пассажирских корреспонденций электронного проездного билета: а – электронный билет 100010324; б – электронный билет 100010341
Источник: составлено авторами.

Figure 9 – Scheme of connections between the boarding and alighting points of passenger correspondence from an electronic ticket transaction
Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

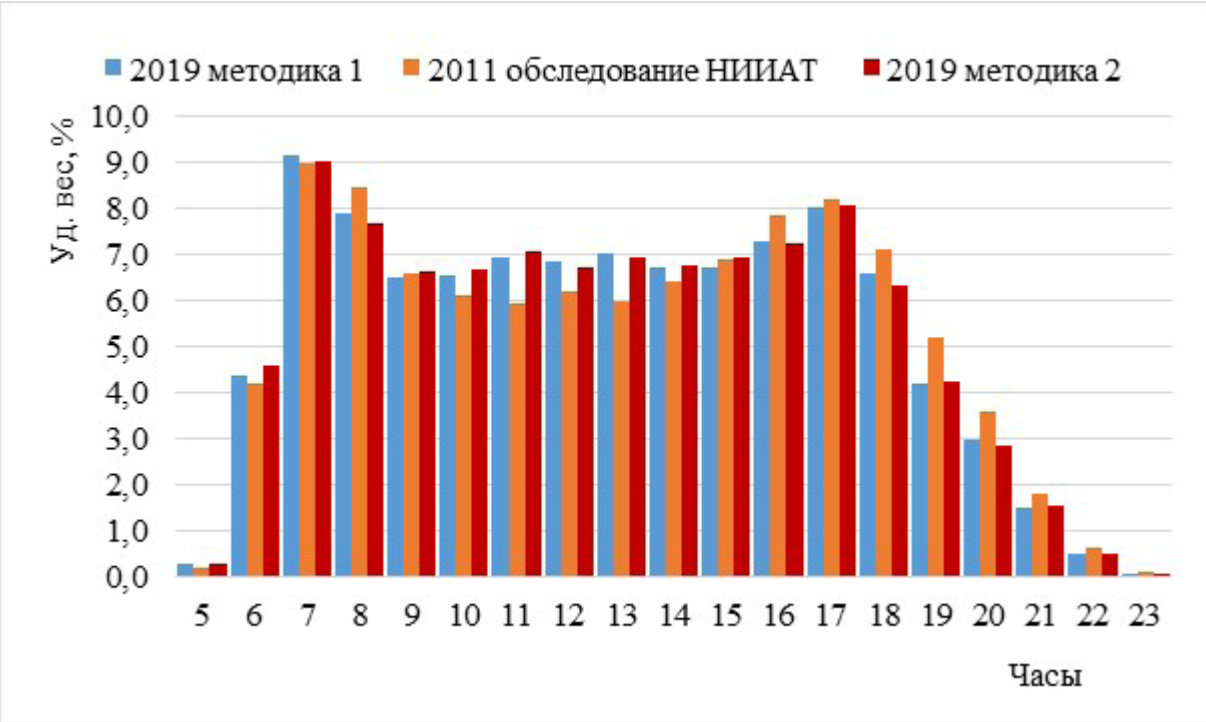


Рисунок 10 – Динамика количества перевезенных пассажиров по часам суток городским пассажирским транспортом общего пользования г. Красноярска
Источник: составлено авторами.

Figure 10 – Dynamics of hourly passengers number carried by urban public transport of the Krasnoyarsk city
Source: compiled by the authors.

Таблица 13
Распределение пассажирских корреспонденций по длине поездки
Источник: составлено авторами.

Table 13
Distribution of passenger correspondence by trip length
Source: compiled by the authors.

Пределы варьирования, км	Валидации октябрь 2019 г.		Обследование 2006 г.	Обследование 2011 г.
	Методика 1	Методика 2		
0-5	49,9	49,8	49,5	46,3
5-10	32,2	32,2	29,2	32,0
10-15	12,1	12,1	13,2	14,4
15-20	4,2	4,2	5,6	5,6
20-25	1,3	1,3	1,9	1,4
25-30	0,3	0,3	0,5	0,2
30-35	0,0	0,0	0,1	0,0

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

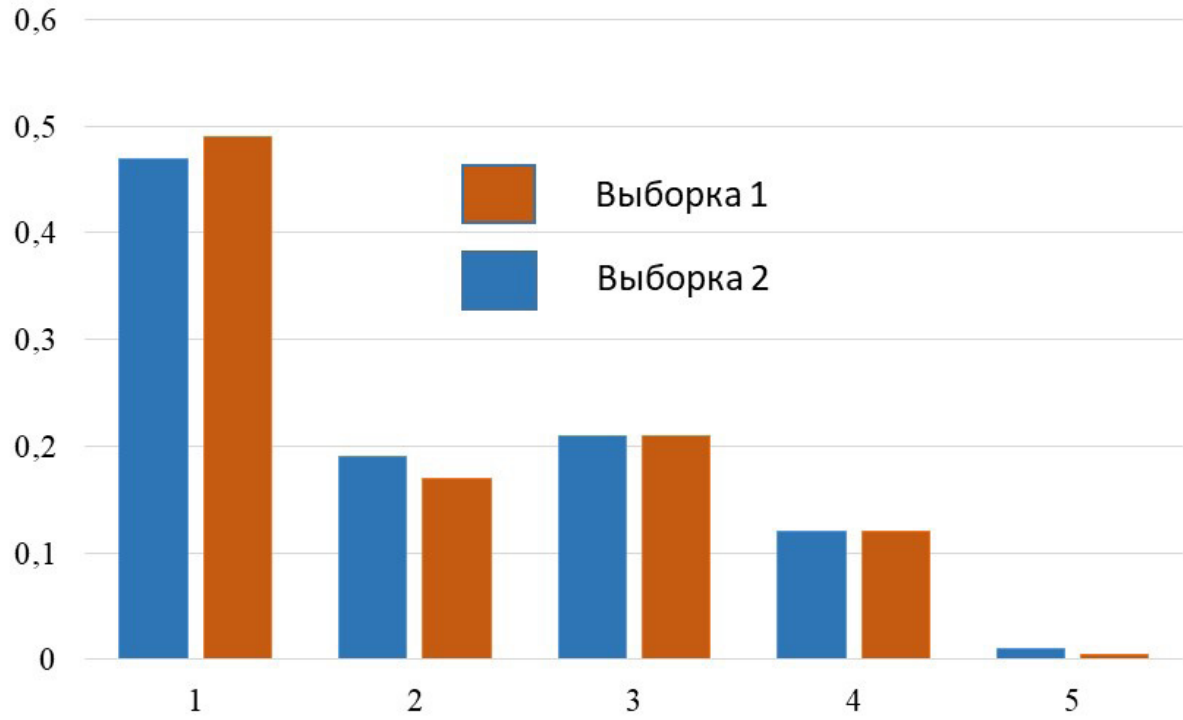


Рисунок 11 – Гистограмма распределения числа вошедших пассажиров по длине маршрута № 26 (прямое направление, вошло пассажиров)
Источник: составлено авторами.

Figure 11 – Histogram of the passengers boarding number distribution along the length of route No. 26 (direct direction)
Source: compiled by the authors.

4. Репрезентативность результатов. Необходимо установить соответствие пассажирских корреспонденций, определенных по валидациям электронных проездных билетов, всем поездкам пассажиров общественным транспортом. Методика, позволяющая решить данную задачу, приведена в [23].

Оценка репрезентативности выборки поездок по электронным билетам осуществляется путем сравнения ее с результатами выборочного автоматизированного учета пассажиров. Рассматриваются две выборки маршрутных пассажирских корреспонденций: из валидаций электронных билетов (выборка 1) и натурного обследования пассажиропотоков (выборка 2). Сравнивается распределение по длине маршрута количества входящих и выходящих пассажиров в данных выборках.

Маршрут разделен на k непересекающихся интервалов. Для каждого интервала рассчитывается удельный вес вошедших и вышедших пассажиров в соответствии с выборками 1 и 2. Таким образом формируются две независимые несвязные выборки. Для их сравнения применяется критерий Стьюдента (t-критерий), который позволяет найти вероятность того, что оба средних значения в выборках относятся к одной и той же совокупности.

На рисунке 11 дана гистограмма распределения числа вошедших пассажиров одного из маршрутов, которая позволяет выдвинуть гипотезу о том, что обе выборки относятся к одной и той же совокупности.

В результате проведенных расчетов получено: наибольшее значение статистики составляет 2,450 (маршрут № 26, прямое направление, вышло пассажиров). Из Excel получаем P-значение 0,02. Большинство значений критерия превышает критическое значение 1,860. Таким образом делаем вывод: пассажирские корреспонденции из валидаций электронных проездных билетов обеспечивают оценку параметров спроса общественного транспорта в пределах допустимых погрешностей.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для обеспечения мобильности населения актуальной проблемой является создание системы мониторинга спроса общественного транспорта с целью постоянного контроля пассажирских потоков населения, параметры которых служат для обоснования управленческих решений по формированию оптимального транспортного предложения.

2. Существующие методы определения пассажирских потоков вследствие их трудоемкости и ограниченной эффективности не позволяют осуществлять на должном уровне мониторинг транспортного спроса. Сегодня широкое распространение получают технологии, основанные на сборе, интеграции и анализе больших данных Big data, Urban computing.

В рамках данного подхода в настоящей статье представлено решение задачи определения корреспонденций пассажиров общественным транспортом посредством анализа операций валидаций электронных проездных билетов (Electronic Travel Tickets): смарт-карт (smart card), транспортных карт, магнитных карт, мобильных телефонов или других электронных устройств (Electronic Gadgets), реквизиты которых фиксируются в автоматизированной системе оплаты проезда Automated Fare Collection при выполнении операции валидации.

Разработанная методика расчета пассажирских корреспонденций из операций валидации электронных проездных билетов, интегрированных с данными глобальной навигационной спутниковой системы, в отличие от ранее выполненных исследований, учитывает практику оплаты проезда в любой точке маршрута, не обязательно сразу же после посадки в транспортное средство.

3. Теоретически обоснованная методика определения спроса на городской общественный транспорт, основанная на определении и оценке множества допустимых вариантов связанности последовательности пассажирских поездок посредством критерия, формируемого из вектора оценочных показателей, позволяет рассчитывать параметры пассажирских корреспонденций с учетом множества факторов, оказывающих влияние на выбор пассажиром маршрутов поездок.

При помощи разработанной методики интерпретируется порядка 65% поездок по электронным проездным билетам.

4. Разработанный метод определения значений весовых коэффициентов оценочных показателей, которые обусловливают выбор маршрутных пассажирских корреспонденций, формируемых из валидаций электронных проездных билетов, позволяет рассчитывать результирующее множество поездок пассажира по критерию соответствия генеральной совокупности спроса общественного транспорта.

5. Доказано, что пассажирские корреспонденции из валидаций электронных проездных билетов позволяют оценить параметры спроса общественного транспорта в пределах допустимых погрешностей.

6. Применение разработанной методики расчета спроса на городской общественный транспорт из операций валидации электронных билетов обеспечивает непрерывный мониторинг пассажирских потоков, технико-эксплуатационных показателей функционирования общественного транспорта и таким образом позволяет реализовать концепцию устойчивого развития общественного транспорта посредством проектирования транспортного предложения, соответствующего спросу.

7. Направлением дальнейших исследований является:

– анализ факторов выбора из допустимых вариантов связности пассажирских корреспонденций, таких как оборудование остановочных пунктов, место их расположения, например рядом с магазинами, лечебными заведениями и т. д.;

– формирование комплекса отчетных форм для использования в работе органов и организаций управления общественным транспортом;

– интеграция имеющегося программного обеспечения в систему учета оплаты проезда и диспетчерского управления движением транспорта для создания промышленной технологии непрерывного мониторинга пассажирских потоков общественного городского транспорта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Селиверстов Я. А., Селиверстов С. А. Методы и модели построения матриц транспортных корреспонденций // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2015. № 2–3 (217–222). С. 49–70

2. Zheng Y, Capra L, Wolfson O, and Yang H, Urban computing: Concepts, methodologies, and applications. ACM Trans. Intell. Syst. Technol., vol. 5, no. 3.pp. 1-55, Sep. 2014.

3. Barry J.J., Freimer R., Slavin H.L. Use of entry-only automatic fare collection data to estimate linked transit trips in New York City. Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board. 2009; 2112: 53-61.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

4. Alfred Chu K., Chapleau R., 2008. Enriching archived smart card transaction data for transit demand modeling. Transport. Res. Rec.: J. Transport. Res. Board 063, 63–72

5. Munizaga M. A., Palma C., Mora P., 2010. Public transport O–D matrix estimation from smart card payment system data. In: 12th World Conference on Transport Research, Lisbon, Paper No. 2988.

6. Nassir N. Khani A., Lee S.G., Noh H., Hickman M. Transit stop-level origin–destination estimation through use of transit schedule and automated data collection system. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2011; 2263: 140-150.

7. Barry J. J. Newhouser R., Rahbee A., Sayeda S. Origin and destination estimation in New York City with automated fare system data. Transportation Research, Record 1817, 2002. Pp.183-187.

8. Zhao J., Rahbee A., Wilson N. Estimating a rail passenger trip origin- destination matrix using automatic data collection systems. Aided Civil and Infrastructure Engineering, vol. 22, 2007. Pp.376-387.

9. Li D., Lin Y., Zhao X., Song H., Zou N. (2011) Estimating a Transit Passenger Trip Origin-Destination Matrix Using Automatic Fare Collection System. In: Xu J., Yu G., Zhou S., Unland R. (eds) Database Systems for Adanced Applications. DASFAA 2011. Lecture Notes in Computer Science, vol 6637. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20244-5_48

10. Munizaga M., Palma C. Estimation of a disaggregate multimodal public transport OD matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile. Transportation Research Part C, Vol. 24, 2012. Pp.9-18.

11. Alsger A., Assemi B., Mesbah M., Ferreira L., Validating and improving public transport origin–destination estimation algorithm using smart card fare data, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 68, 2016, Pages 490-506.

12. Gordon J., Koutsopoulos H., Wilson N., Attanucci J., 2013. Automated inference of linked transit journeys in London using fare-transaction and vehicle location data. Transport. Res. Rec.: J. Transport. Res. Board 2343, 17–24.

13. Farzin J. M., 2008. Constructing an automated bus origin–destination matrix using farecard and global positioning system data in Sro Paulo, Brazil. Transport. Res. Rec.: J. Transport. Res. Board 2072, 30–37

14. Cui A. Bus passenger origin–destination matrix estimation using automated data collection systems master's dissertation. Massachusetts Institute of Technology, 2006.

15. Zhao, J. 2004. The planning and analysis implications of automated data collection systems: rail transit OD matrix inference and path choice modeling examples. (MS Thesis, Massachusetts Institute of Technology).

16. Nunes, A. A., Dias, T. G., & e Cunha, J. F. (2015). Passenger journey destination estimation from automated fare collection system data using spatial validation. IEEE transactions on intelligent transportation systems, 17(1), 133-142.

17. Wang W., John P., Nigel H. M., Bus passenger origin–destination estimation and travel behavior using automated data collection systems in London. Journal of Public Transportation. 2011; 14(4).

18. Munizaga M. A., Devillaine F., Navarrete C., Silva D., 2014. Validating travel behaviour estimated from smartcard data. Transport. Res. Part C: Emerg. Technol. 44, 70–79.

19. Hofmann, M., O'Mahony, M., 2005. Transfer journey identification and analyses from electronic fare collection data. In: Intelligent Transportation Systems, Proceedings IEEE, pp. 34–39.

20. Joana H. Estimation of Origin-Destination matrices under Automatic Fare Collection: the case study of Porto transportation system / Joana Horaa, Teresa Galvão Diasa , Ana Camanhoa , Thiago Sobral // Transportation Research Procedia 27 (2017). pp. 664–671.

21. Nunes A. A., Dias, T. G., Cunha, J. F., 2016. Passenger journey destination estimation from automated fare collection system data using spatial validation. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 17. pp 133–142. doi:10.1109/TITS.2015.2464335

22. Trépanier M., Tranchant N., Chapleau R. Individual trip destination estimation in a transit smart card automated fare collection system. Journal of Intelligent Transportation Systems. 2007. vol. 11. pp.1-14

23. Фадеев А. И., Алхуссейни С. Обследование пассажирских потоков путем анализа валидаций электронных проездных билетов // Вестник СибАДИ. 2021; 18 (1) :52–71. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-1-52-71

24. Alsger A. Mesbah M., Ferreira L., Safi H. Use of smart card fare data to estimate public transport origin–destination matrix. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2015; 2535: 88-96.

25.Fadeev A. I., Alhusseini S. Passenger trips analysis determined by processing validation data of the electronic tickets in public transport. 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1061 012001. p. 9

26. Подиновский В. В., Потапов М. А. Метод взвешенной суммы критериев в анализе многокритериальных решений: pro et contra // Бизнес-информатика. 2013. № 3 (25). С. 41–48.

27. Фетинина Е. П., Кораблина Т. В., Соловьева Ю. А. Типологические аспекты многокритериального выбора вариантов: монография/СибГИУ. Новокузнецк, 2003. 118 с.

REFERENCES

1. Seliverstov Ja. A., Seliverstov S. A. Metody i modeli postroenija matric transportnyh korre-spondenci [Methods and models for constructing matrices of transport correspondence] *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU*. Informatika. Telekommunikacii. Upravlenie. 2015; 2-3(217-222): 49–70 (In Russ.)

2. Zheng Y, Capra L, Wolfson O, and Yang H, Urban computing: Concepts, methodologies, and applications. *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, vol. 5. no. 3. pp. 1-55, Sep. 2014.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

3. Barry J. J., Freimer R., Slavin H. L. Use of entry-only automatic fare collection data to estimate linked transit trips in New York City. Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board. 2009; 2112:53-61.

4. Alfred Chu K., Chapleau R., 2008. Enriching archived smart card transaction data for transit demand modeling. *Transport. Res. Rec.: J. Transport*. Res. Board 063, 63–72

5. Munizaga M. A., Palma C., Mora P., 2010. Public transport O–D matrix estimation from smart card payment system data. In: 12th World Conference on Transport Research, Lisbon, Paper No. 2988.

6. Nassir N. Khani A., Lee S. G., Noh H., Hickman M. Transit stop-level origin–destination estimation through use of transit schedule and automated data collection system. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.* 2011; 2263: 140-150.

7. Barry J.J. Newhouser R., Rahbee A., Sayeda S. Origin and destination estimation in New York City with automated fare system data. *Transportation Research*, Record 1817, 2002. pp.183-187.

8. Zhao J., Rahbee A., Wilson N. Estimating a rail passenger trip origin- destination matrix using automatic data collection systems. *Aided Civil and Infrastructure Engineering* 2007; vol. 22: 376-387.

9. Li D., Lin Y., Zhao X., Song H., Zou N. (2011) Estimating a Transit Passenger Trip Origin-Destination Matrix Using Automatic Fare Collection System. In: Xu J., Yu G., Zhou S., Unland R. (eds) Database Systems for Adanced Applications. DASFAA 2011. Lecture Notes in Computer Science, vol 6637. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20244-5_48

10. Munizaga M., Palma C. Estimation of a disaggregate multimodal public transport OD matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile. *Transportation Research* Part C, 2012; Vol. 24: 9-18.

11. Alsger A., Assemi B., Mesbah M., Ferreira L., Validating and improving public transport origin–destination estimation algorithm using smart card fare data, *Transportation Research Part C*: Emerging Technologies, 2016; Volume 68: 490-506.

12. Gordon J., Koutsopoulos H., Wilson N., Attanucci J., 2013. Automated inference of linked transit journeys in London using fare-transaction and vehicle location data. Transport. Res. Rec.: J. Transport. Res. Board 2343, 17–24.

13. Farzin J.M., 2008. Constructing an automated bus origin–destination matrix using farecard and global positioning system data in Sro Paulo, Brazil. Transport. Res. Rec.: J. Transport. Res. Board 2072, 30–37.

14. Cui A. Bus passenger origin–destination matrix estimation using automated data collection systems master's dissertation. Massachusetts Institute of Technology, 2006.

15. Zhao, J. 2004. The planning and analysis implications of automated data collection systems: rail transit OD matrix inference and path choice modeling examples. (MS Thesis, Massachusetts Institute of Technology).

16. Nunes, A. A., Dias, T. G., & e Cunha, J. F. (2015). Passenger journey destination estimation from automated fare collection system data using spatial validation. IEEE transactions on intelligent transportation systems. 2015; 17(1): 133-142.

17. Wang W., John P., Nigel H.M., Bus passenger origin–destination estimation and travel behavior using automated data collection systems in London. Journal of Public Transportation. 2011; 14(4).

18. Munizaga M.A., Devillaine F., Navarrete C., Silva D., 2014. Validating travel behaviour estimated from smartcard data. Transport. Res. Part C: Emerg. Technol. 44, 70–79.

19. Hofmann, M., O'Mahony, M., 2005. Transfer journey identification and analyses from electronic fare collection data. In: Intelligent Transportation Systems, Proceedings IEEE, pp. 34–39.

20. Joana H. Estimation of Origin-Destination matrices under Automatic Fare Collection: the case study of Porto transportation system / Joana Horaa, Teresa Galvão Diasa, Ana Camanhoa, Thiago Sobral. *Transportation Research Procedia*. 2017; 27: 664–671

21. Nunes A. A., Dias T. G., Cunha J. F., 2016. Passenger journey destination estimation from automated fare collection system data using spatial validation. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 17. pp 133–142. doi:10.1109/TITS.2015.2464335

22. Trépanier M., Tranchant N., Chapleau R. Individual trip destination estimation in a transit smart card automated fare collection system. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, vol. 11, 2007. pp.1-14

23. Fadeev A.I., Alhusseini S. Transit ridership survey by analysis validation of electronic pass tickets. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2021;18(1):52-71. (In Russ.) https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-1-52-71

24. Alsger A. Mesbah M., Ferreira L., Safi H. Use of smart card fare data to estimate public transport origin–destination matrix. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2015; 2535: 88-96

25. Fadeev A.I., Alhusseini S. Passenger trips analysis determined by processing validation data of the electronic tickets in public transport ,2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1061 012001. p. 9

26. Podinovskij V.V., Potapov M.A. Metod vzveshennoj summy kriteriev v analize mnogokriterial'nyh reshenij: pro et contra [The method of the weighted sum of criteria in the analysis of multi-criteria decisions: pro et contra]. *Biznes-informatika*. 2013; 3(25): 41 – 48 (In Russ.)

27. Fetinina E. P., Korablina T. V., Solov'eva Ju. A. *Tipologicheskie aspekty mnogokriterial'nogo vybora variantov: Monografija* [Typological aspects of the multi-criteria choice of options: Monograph] SibGIU. Novokuzneck, 2003: 118 (In Russ.)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Фадеев А. И. Разработка методики расчета транспортного спроса из валидаций электронных проездных билетов, разработка программного обеспечения, методики оценки репрезентативности выборочной совокупности поездок генераль-

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ному множеству пассажирских корреспонденций, анализ полученных данных, формулирование заключения.

Алхуссейни С. Анализ состояния вопроса, обзор литературных источников. Участие в подготовке исходных данных и расчетах, оценка репрезентативности выборочной совокупности поездок генеральному множеству пассажирских корреспонденций.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Aleksandr I. Fadeev, Development of a methodology for calculating transport demand from the validation of eletronic travel tickets, software development, and development of a methodology for evaluating the representativeness of a sample set of trips to a general set of passenger correspondence, analysis of the data obtained, and formulation of a conclusion.

Sami Alhusseini, an analysed status of the problem, literary sources review, participation in preparation and anaysis input data for calculations, evaluation of the representativeness of the sample set of trips to the general set of passenger correspondence.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фадеев Александр Иванович – д-р техн. наук, доц. кафедры транспорта.

Алхуссейни Сами – аспирант кафедры транспорта.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr I. Fadeev – Dr of Sci., Associate Professor of the Transport Department.

Sami Alhusseini – Postgraduate student of the Transport Deparment.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

УДК 656.071.3
DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-398-410
EDN: RLLBGK
Научная статья

Check for updates

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ СПЕЦИАЛИСТОВ С АВТОТРАНСПОРТНЫМ ОБРАЗОВАНИЕМ В РЕГИОНЕ

Н. Н. Якунин, Н. В. Якунина, О. Ю. Фролов, И. Х. Хасанов*
Оренбургский государственный университет,
г. Оренбург, Россия
yakunin-n@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0002-7240-4982,
yakunin-n@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0002-8895-1307,
yakunin-n@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0002-6198-2621,
hasanovilgiz1@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0002-3908-8789
**ответственный автор*

АННОТАЦИЯ

Введение. *Существующая методика определения количественных показателей подготовки специалистов для автотранспортных комплексов регионов с учётом технологической потребности хозяйствующих субъектов не отражает правила формирования структурных характеристик обеспеченности в специалистах и персонале автомобильного транспорта. Эта методика нуждается в дальнейшем развитии, направленном на определение структурных показателей системы кадрового обеспечения. Основным показателем такой структуры является соотношение количества специалистов по уровням подготовки. Данная статья восполняет образовавшийся пробел и направлена на совершенствование структурных показателей подготовки специалистов и персонала автомобильного транспорта. Этим обусловлена актуальность разработки соответствующей методики.*
Материалы и методы. *В работе использованы классические методы анализа, синтеза, структурного моделирования, положения теории технической эксплуатации автомобилей, методы математического анализа и основы алгоритмизации. Полученные результаты применимы для их использования при совершенствовании подготовки специалистов и персонала организаций и предприятий автомобильного транспорта независимо от их ведомственной подчиненности.*
Результаты. *Основным результатом работы является методика определения структуры специалистов с автотранспортным образованием в регионе, отличающаяся от известных тем, что учитывает распределение количества подготавливаемых кадров по уровням профессионального высшего и среднего образования между автотранспортными и автообслуживающими предприятиями независимо от ведомственной принадлежности. Разработан метод структурного ранжирования персонала управления автотранспортного предприятия. Эти результаты представляют научную новизну исследования. Определены результаты структурного распределения персонала по уровням образования, разработан соответствующий алгоритм.*
Обсуждение и заключение. *Разработан методический инструментарий определения структуры специалистов с автотранспортным образованием в регионе. Применение результатов работы позволит повысить обоснованность государственного задания на совершенствование подготовки специалистов и персонала автомобильного транспорта в регионах.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *автомобильный транспорт, подготовка специалистов и персонала, технологии наземного транспорта, автотранспортный комплекс региона.*

Статья поступила в редакцию 18.03.2022; одобрена после рецензирования 20.04.2022; принята к публикации 10.06.2022.
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: Якунин Н. Н. Методика определения структуры специалистов с автотранспортным образованием в регионе / Н. Н. Якунин, Н. В. Якунина, О. Ю. Фролов, И. Х. Хасанов // *Вестник СибАДИ.* 2022. Т. 19, № 3(85). С. 398-410. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-19-3-398-410

© Якунин Н. Н., Якунина Н. В., Фролов О. Ю., Хасанов И. Х., 2022

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-398-410
EDN: RLLBGK
Original article

DETERMINATION METHOD FOR STRUCTURING SPECIALISTS SKILLED IN MOTOR TRANSPORT IN THE REGION

Nikolai N. Yakunin, Natalia V. Yakunina, Oleg Yu. Frolov, Ilgiz Kh. Khasanov*
Orenburg State University,
Orenburg, Russia
yakunin-n@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0002-7240-4982,
yakunin-n@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0002-8895-1307,
yakunin-n@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0002-6198-2621,
hasanovilgiz1@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0002-3908-8789
**corresponding author*

ABSTRACT

Introduction. *The existing methodology for determining quantitative indicators of training specialists for motor transport complexes of the regions, taking into account the technological needs of economic entities, does not reflect the rules for the formation of structural characteristics of security in specialists and staff of motor transport. This methodology needs to be further developed to identify structural indicators of the human resources system. The main indicator of this structure is the ratio of the number of specialists by training levels. This article fills the gap and aims to improve the structural indicators of the training of motor transport specialists and staff. This is due to the relevance of developing an appropriate methodology.*
Materials and methods. *Classical methods of analysis, synthesis, structural modelling, provisions of the theory of motor vehicles maintenance, methods of mathematical analysis and fundamentals of algorithms are used in the work. The obtained results are applicable for their use in improving specialists and staff training in organisations and enterprises of motor transport, regardless of their departmental subordination.*
Results. *The main result of the work is a methodology for determining the structure of specialists skilled in motor transport in the region, differing from the known ones that it takes into account the distribution of the number of the skilled staff according to the levels of vocational higher and secondary education between motor transport and car service enterprises, regardless of the departmental subordination. The method of structural ranking of the specialists skilled in motor transport enterprise management has been developed. These results represent the scientific novelty of the study. The results of the structural distribution of specialists by levels of education have been determined, the corresponding algorithm has been developed.*
Discussion and conclusions. *A methodological tool for determining the structure of specialists with motor transport education in the region has been developed. The application of the results of the work will make it possible to increase the validity of the state task to improve the training of specialists and motor transport staff in the regions.*

KEYWORDS: *motor transport, training of specialists and staff, ground transport technologies, road transport complex of the region.*

The article was submitted 18.03.2022; approved after reviewing 20.04.2022; accepted for publication 10.06.2022.
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: Yakunin N. N., Yakunin N. V., Frolov O. Yu., Khasanov I. Kh. Determination method for structuring specialists skilled in motor transport in the region. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (3): 398-410. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-398-410

© Yakunin N. N., Yakunina N. V., Frolov O. Yu., Khasanov I. Kh., 2022

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

ВВЕДЕНИЕ

Перспективное развитие каждой отрасли народного хозяйства связано с успешным автотранспортным обеспечением. Для более эффективного функционирования народного хозяйства необходимо детально прорабатывать элементы, касающиеся теоретической и практической подготовки специалистов и персонала автомобильного транспорта в соответствии с технологическими потребностями хозяйствующих субъектов независимо от их ведомственной принадлежности.

Анализ ранее опубликованных работ, в которых изучено влияние персонала и его квалификации на процесс производства[1] [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,10, 11, 12, 13, 14, 15], в том числе исследования, в которых отражен опыт ведущих экономик мира [16, 17], выявил влияние структуры экономической деятельности в регионах страны на характеристики автотранспортных предприятий, среди которых наибольшее внимание уделено количеству таких предприятий, количеству и типоразмеру автомобилей в их составе и другим показателям. При этом характеристики персонала предлагают определять по методикам, которые не учитывают произошедшие изменения экономических отношений в стране, технические, технологические и организационные новации, вызванные научно-техническим прогрессом. Разработанная ранее методика определения потребности автотранспортного комплекса региона в кадрах с профильным образованием [18] не отражает правила формирования структурных характеристик обеспеченности региона в специалистах и персонале автомобильного транспорта. В научной работе учёных из СибАДИ [19] акцент сделан на современные требования в развитии транспортной отрасли за счет совершенствования планирования деятельности предприятий автомобильного транспорта по показателям, определяющим производительность труда работников и подвижного состава, которые являются функцией от спроса на выполнение перевозок. Данная статья восполняет образовавшийся пробел и направлена на совершенствование подготовки специалистов и персонала автомобильного транспорта, что обосновывает её актуальность.

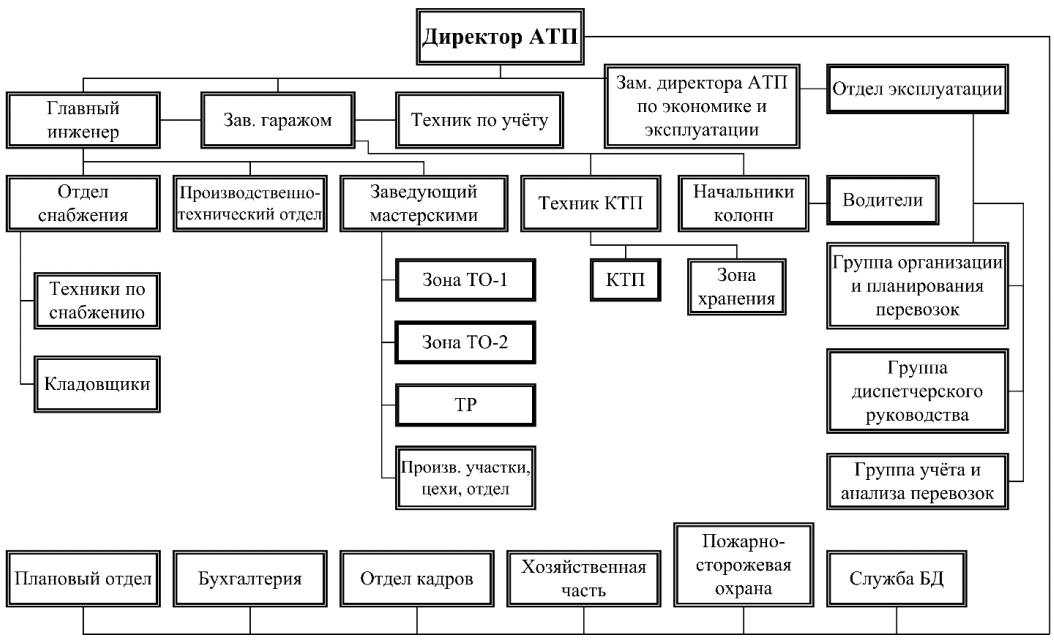


Рисунок 1 – Структура организации управления автотранспортного предприятия
Источник: Режим доступа: https://works.doklad.ru/view/wST0qPuOeBU.html.

Figure 1 – The structure of motor transport enterprise management organisation
Source: Available at: https://works.doklad.ru/view/wST0qPuOeBU.html.

[1] Фролов О. Ю. Методика прогнозирования количества автотранспортных средств в регионе: материалы Международной научно-практической конференции «Наука России: цели и задачи» / О. Ю. Фролов, Н. Н. Якунин. Н. В. Якунина, А. А. Постников. Екатеринбург: НИЦ «Л-Журнал», Часть 1. 2021. С. 118–121.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

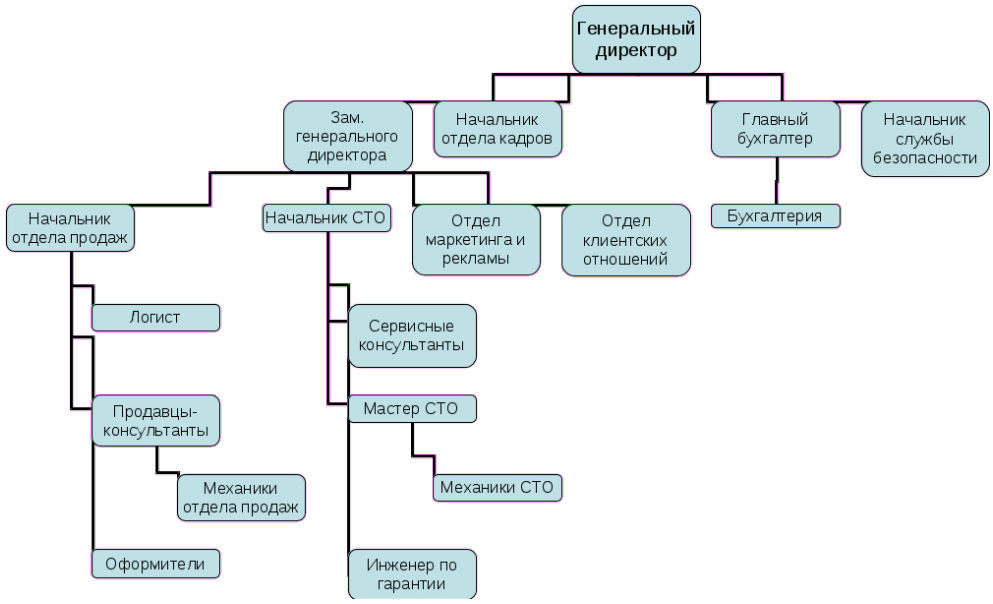


Рисунок 2 – Структура организации управления автообслуживающего предприятия
Источник: Режим доступа: https://works.doklad.ru/view/V7vNs2xqMUA/6.html.

Figure 2 – The structure of the management organisation for the auto-servicing enterprise
Source: Available at: https://works.doklad.ru/view/V7vNs2xqMUA/6.html.

Организационная структура управления автотранспортного предприятия зависит от его основного назначения, количества подвижного состава, вида выполняемых услуг и др.[2] Наиболее распространенная структура организации управления автотранспортного предприятия[3] показана на рисунке 1.

Структура организации управления автообслуживающего предприятия изображена на рисунке 2. В связи с тем, что у станций технического обслуживания автомобилей отсутствует перевозочная функция, то и в общей структуре управления отсутствуют некоторые службы и отделы, имеющиеся у автотранспортных предприятий. Поэтому численность руководящего персонала средних и крупных по мощности автообслуживающих предприятий ниже, чем у подобных по производственной мощности автотранспортных предприятий.

Таблица 1

Нормативы численности руководителей, специалистов и служащих автообслуживающих предприятий
Источник: Режим доступа: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/b00/4294848591.pdf.

Table 1

The standards for number of managers, specialists and employees in auto-servicing enterprises
Source: URL: https://ohranatruda.ru/upload/iblock/b00/4294848591.pdf.

Обозначение персонала	Численность при количестве рабочих постов, чел.			
	до 5 постов	от 5 до 10 постов	от 10 до 20 постов	от 20 до 30 постов
Общее руководство	1	1	1	1
Материально-техническое снабжение	-	-	1–2	2
Производственно-техническая служба	2	3–5	6–8	8–9
Младший обслуживающий персонал	1	1	2	3
Итого	4	7	13	15

[2] Малкин В. С. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: теоретические и практические аспекты: учеб. пособие для вузов / В. С. Малкин. М.: Академия, 2007. 288 с.

[3] Кузнецов Е. С. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: учеб. для вузов / под ред. Е. С. Кузнецова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 2004. 535 с.: ил. ISBN 5-02-006307-X.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

Численность руководства автообслуживающих предприятий зависит от количества рабочих постов и принимается по нормативу[4], представленному в таблице 1.

Актуальность данного исследования состоит в том, что существующая методика определения потребности автотранспортного комплекса региона в кадрах с профильным образованием не отражает правила формирования структурных характеристик обеспеченности региона в специалистах и персонале автомобильного транспорта. Данная работа восполняет образовавшийся пробел и направлена на совершенствование подготовки специалистов и персонала автомобильного транспорта, что обусловливает важность разработки методики определения структуры специалистов с автотранспортным образованием в регионе.

Целью работы является научное обоснование структуры специалистов автомобильного транспорта в регионе на основе сопоставительного анализа типовых схем управления автотранспортных предприятий и предъявляемых к ним нормативных требований с учётом технологической потребности хозяйствующих субъектов независимо от их ведомственной принадлежности.

Задачи работы:

1. Проанализировать и охарактеризовать уровни подготовки специалистов и персонала автомобильного транспорта.

2. Сформировать структуру управления автотранспортного предприятия с учётом ранговой иерархии.

3. Разработать алгоритм определения структуры специалистов с автотранспортным образованием в регионе.

Рабочей гипотезой в данной публикации является то, что должна существовать определенная иерархическая структура в управлении и функционировании автотранспортных и автообслуживающих предприятий, взаимосвязанная с подготовкой специалистов и персонала автомобильного транспорта и распределением по уровням высшего образования для управленческого персонала и среднего профессионального образования для основных производственных ремонтных рабочих.

Научная новизна работы заключается в разработанной методике и сформированной структуре управления автотранспортного предприятия с учётом ранговой иерархии, алгоритме определения структуры специалистов с автотранспортным образованием в регионе и результатах определения соотношения руководящего персонала и основных производственных ремонтных рабочих на автотранспортных и автообслуживающих предприятиях по уровням высшего и среднего профессионального образования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Современная подготовка специалистов автомобильного транспорта с высшим образованием включает несколько уровней обучения: бакалавриат, специалитет и магистратура. Среднее профессиональное образование имеет одноступенчатую форму. В зависимости от полученного образования специалист в сфере автомобильного транспорта назначается на определенную должность в автотранспортных или автообслуживающих предприятиях.

Постановление Минтруда РФ от 21.08.98 № 37 «Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих»[5] регламентирует уровень базового образования персонала, работающего в сфере автомобильного транспорта. В основе разработанного метода структурного ранжирования персонала управления автотранспортного предприятия в данной работе была использована наиболее распространенная структура организации управления АТП (см. рисунок 1), преобразованная в таблицу 2. В данной структуре организации управления автотранспортного предприятия выделены пять рангов. Верхний уровень в этой иерархической системе принадлежит первому рангу, а именно генеральному директору автотранспортного предприятия, которому подчиняются все остальные ранги через сопутствующие. Далее ранги, следуя по возрастанию своего численного значения, присваиваются должностям, подчиняющимся предыдущим рангам. Должности первого и второго рангов обозначены цифрами от 1 до 5, к которым в дальнейшем подчиняется соответствующий персонал подразделения (например, 4.2 начальник ПТО подчиняется 4 техническому директору и т. д.). Жирным шрифтом в таблице выделены должности, имеющие непосредственное отно-

[4] Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта ОНТП-91 (утверждены протоколом концерна «Росавтотранс» от 7 августа 1991 г. № 3 п).

[5] Постановление Минтруда РФ от 21.08.98 № 37 «Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих».

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

шение к системе высшего профессионального образования. Для удобства обозначения данного персонала в примечании таблицы 2 указан разработанный шифр определенной должности (например $N_{3\text{-}3.3}$).

Основная доля руководителей и инженерного состава предприятия должна иметь высшее профессиональное образование (ВПО) из укрупнённой 23-й группы направлений подготовки «Техника и технологии наземного транспорта», причём директора и начальники 1-3 рангов преимущественно должны иметь степень магистра или уровень подготовки специалиста. Ранги 4 и 5 допускают уровень бакалавриата и среднего профессионального образования.

Таблица 2

Структура организации управления автотранспортного предприятия

Источник: составлено авторами.

Table 2

The structure of the motor transport enterprise management organisation

Source: compiled by the authors.

1-й ранг	2-й ранг	3-й ранг	4-й ранг	5-й ранг
1. Генеральный директор АТП (ВПО-с/м-N1-1)	2. Директор по экономике	2.1. Начальник планово-экономического отдела	Экономисты	-
		2.2. Начальник отдела организации труда и заработной платы	Экономисты, нормировщики	-
	3. Коммерческий директор	3.1. Расчётный отдел	Экономисты	-
		3.2. Отдел маркетинга	Маркетологи	-
		3.3. Начальник отдела эксплуатации (ВПО-с/м-N3-3.3)	3.3.1. Руководитель группы организации, планирования и подготовки грузов (отдел логистики) (ВПО-б-N4-3.3.1)	Логисты (ВПО-б/СПО-N5-3.3.1)
			3.3.2. Главный (старший) диспетчер (ВПО-б-N4-3.3.2)	Линейные диспетчеры (СПО-N5-3.3.2)
			3.3.3. Руководитель группы учёта и анализа перевозок (ВПО-б-N4-3.3.3)	Инженеры отдела эксплуатации, таксировщики (ВПО-б/СПО-N5-3.3.3)
		3.4. Начальник колонн (ВПО-б/СПО-N3-3.4)	Водители	-
	4 .Технический директор (главный инженер) (ВПО-с/м-N2-4)	4.1. Начальник мастерских (ВПО-б/СПО-N3-4.1)	4.1.1. Мастера зоны ТО (ВПО-б/СПО-N4-4.1.1)	Ремонтные рабочие (СПО-N5-4.1.1)
			4.1.2. Мастера зоны ТР (ВПО-б/СПО-N4-4.1.2)	Ремонтные рабочие (СПО-N5-4.1.2)
		4.2. Начальник (ПТО) производственно-технического отдела (ВПО-с/м-N3-4.2)	Инженеры, техники по учёту (ВПО-б/СПО-N4-4.2)	-
		4.3. Начальник отдела снабжения (ВПО-с/м-N3-4.3)	4.3.1. Инженеры, техники по снабжению (ВПО-б/СПО-N4-4.3.1)	-
			4.3.2. Заведующие складами, кладовщики (СПО-N4-4.3.2)	-
		4.4. Начальник (ОГМ) отдела главного механика (ВПО-с/м-N3-4.4)	Рабочие ОГМ (СПО-N4-4.4)	-
	5. Руководитель отдела БД (ВПО-с/м-N2-5)	Инженер по безопасности дорожного движения (ВПО-б/СПО-N3-5)	-	-

Примечание: ВПО – высшее профессиональное образование, СПО – среднее профессиональное образование, м – магистратура, с – специалитет, б – бакалавриат, N3-4.4 – количество штатных единиц сотрудников 3-го ранга подразделения 4.4.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

Таблица 3
Численность персонала управления автотранспортным предприятием
Источник: составлено авторами.

Table 3
The number of the staff for motor transport enterprise management
Source: compiled by the authors.

Показатель	Численность персонала укрупненной группы 23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта», чел.	
	Магистратура / Специалитет	Бакалавриат
N_{1-1}	1	-
N_{2-4}	1	-
N_{2-5}	1	-
$N_{3-3.3}$	1	-
$N_{3-3.4}$	-	1
$N_{3-4.1}$	-	1
$N_{3-4.2}$	1	-
$N_{3-4.3}$	1	-
$N_{3-4.4}$	1	-
N_{3-5}	-	1
$N_{4-3.3.1}$	-	1
$N_{4-3.3.2}$	-	1
$N_{4-3.3.3}$	-	1
$N_{4-4.1.1}$	-	1
$N_{4-4.1.2}$	-	1
$N_{4-4.2}$	-	1
$N_{4-4.3.1}$	-	1
$N_{5-3.3.1}$	-	1
$N_{5-3.3.3}$	-	1
Итого	7	12
Соотношение, %	37	63

Проанализировав должностные требования к персоналу управления автотранспортным предприятием, используя «Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих»[6], была разработана таблица 3, по результатам численных значений которой в конечном итоге выявлено соотношение между магистратурой/специалитетом и бакалавриатом.

Для эффективного функционирования АТП в таблице 3 был произведён расчёт численности персонала управления автотранспортным предприятием, где было выявлено, что 37% должны составлять выпускники, окончившие магистратуру и специалитет, а 63% – бакалавриат. Требования, предъявляемые по уровню образования некоторых должностей в вышеизложенной таблице 2, предполагают и наличие среднего профессионального образования (СПО), однако приоритет в выборе специалиста будет направлен к выпускнику вуза.

Аналогичным образом была определена численность персонала управления автообслуживающим предприятием (таблица 4).

[6] Постановление Минтруда РФ от 21.08.98 № 37 «Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих».

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Таблица 4
Численность персонала управления автообслуживающим предприятием
Источник: составлено авторами.

Table 4
The number of auto service enterprise management staff
Source: compiled by the authors.

Должность	Численность персонала укрупненной группы 23.00.00, чел.	
	Магистратура / Специалитет	Бакалавриат
Генеральный директор	1	-
Зам. генерального директора	1	-
Начальник СТО (сервис-менеджер)	1	-
Начальник отдела продаж	1	-
Инженер по гарантии	-	1
Мастер СТО	-	1
Логист	-	1
Сервисный консультант	-	1
Продавец консультант	-	1
Мастер-приёмщик	-	1
Итого	4	6
Соотношение, %	40	60

В таблице 4 представлены результаты расчёта численности персонала управления автообслуживающим предприятием, где было выявлено, что 40% должны составлять выпускники, окончившие магистратуру и специалитет, а 60% – бакалавриат.

Согласно упрощенной методике расчётов численности руководящего персонала предприятий автомобильного транспорта[7]:

$$N_{\text{рук}} = 0{,}12 \cdot \left(N_{5-4.1.1(2)} + \right.$$
$$\left. + 0{,}25 \cdot N_{5-4.1.1(2)}\right), \text{ чел.}, \quad (1)$$

где $N_{5-4.1.1(2)}$ – основные производственные ремонтные рабочие зон ТО и ТР (см. таблицу 2).

С учётом математических преобразований формула (1) примет следующий вид:

$$N_{\text{рук}} = 0{,}15 \cdot N_{5-4.1.1(2)}, \text{ чел.} \quad (2)$$

Алгоритм распределения уровней высшего и среднего профессионального образования для управляющего и основного производственного ремонтного персонала автотранспортной сферы региона представлен на рисунке 3.

[7] Стрельникова Л. М. Технико-экономическое обоснование в дипломном проектировании [Электронный ресурс]: метод. указания к экономической части дипломных проектов / Л. М. Стрельникова, Т. М. Шпильман. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007. 71 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

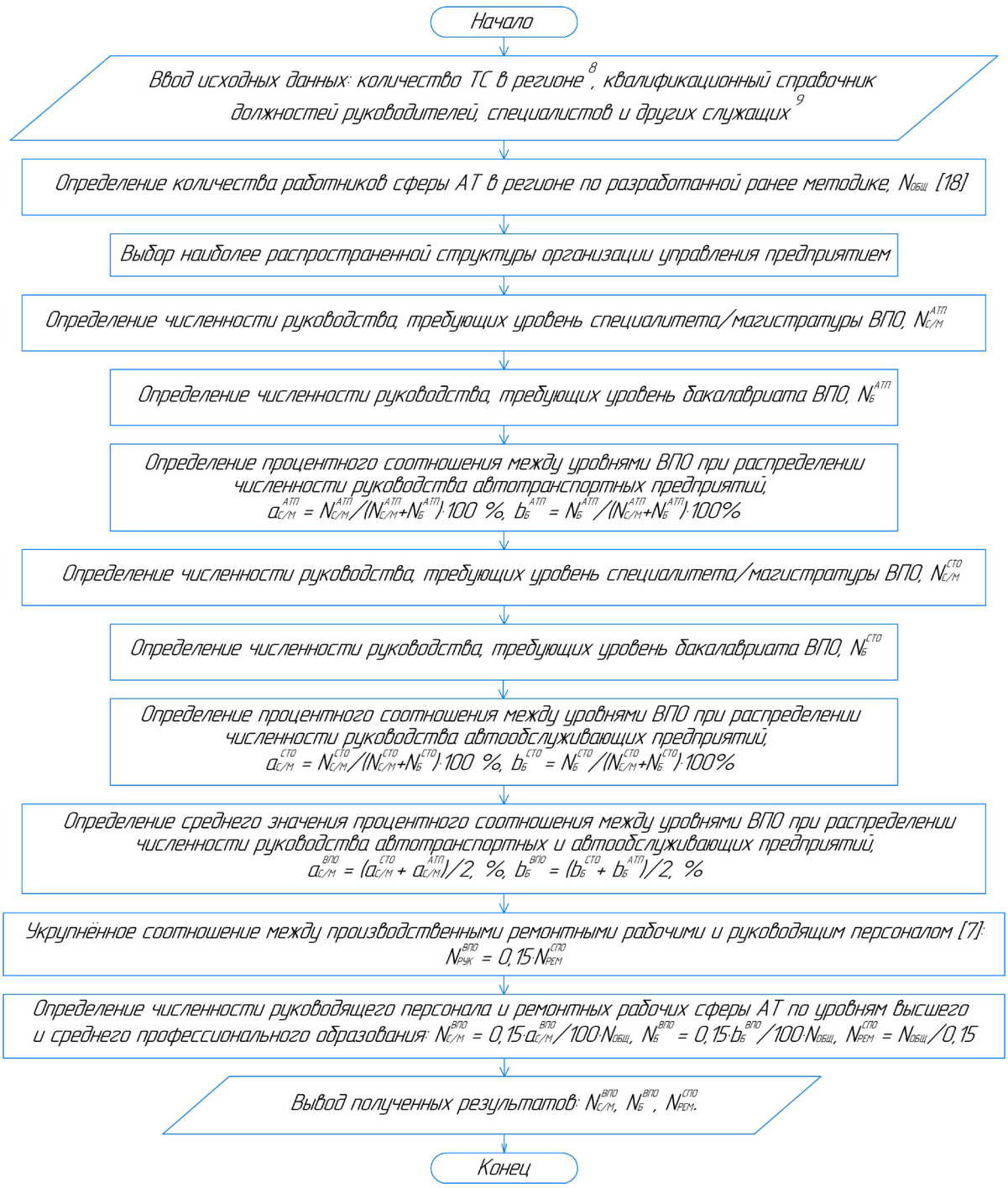


Рисунок 3 – Алгоритм распределения уровней высшего и среднего профессионального образования для управляющего и основного производственного ремонтного персонала автотранспортной сферы региона
Источник: разработан авторами.

Figure 3 – Distribution algorithm for higher and secondary vocational education levels for the management and main industrial repair staff in the motor transport sector of the region
Source: developed by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Ввод исходной информации для дальнейших расчётов в разработанном алгоритме, например для Оренбургской области, используя данные следующих литературных источников[8, 9].

Таким образом, доля руководителей и основных производственных ремонтных рабочих на автотранспортных и автообслуживающих предприятиях составляет 15% и 85% соответственно (рисунок 4).

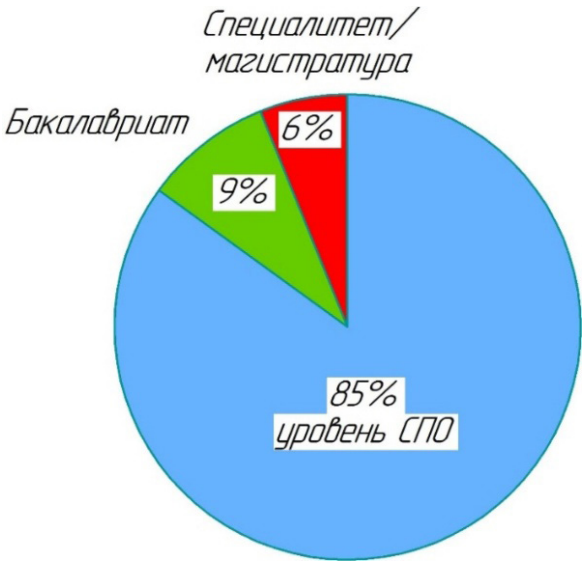


Рисунок 4 – Диаграмма распределения руководителей и производственных рабочих на автотранспортных и автообслуживающих предприятиях региона
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – The distribution diagram of the managers and production workers in the motor transport and motor repair service enterprises of the region
Source: compiled by the authors.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для эффективной работы автотранспортных и автообслуживающих предприятий региона требуется определённое количество штатных единиц руководящего персонала – это руководители, специалисты и служащие АТП, СТО, дилерских центров, автомастерских и других предприятий автотранспортной сферы.

При исследовании распределения численности персонала управления автообслуживающего предприятия, в структуре которого было выявлено, что 40% должны составлять выпускники, окончившие магистратуру и специалитет, а 60 % – бакалавриат. Таким образом, усредненный показатель уровня высшего образования будет составлять 39% (магистратура/специалитет) и 61% (бакалавриат) соответственно.

В связи с вышеизложенным для качественного и эффективного управления предприятиями и организациями сферы автомобильного транспорта в регионе требуется 6% выпускников, имеющих ВПО и окончивших уровень магистратуры или специалитета, и 9% выпускников, имеющих ВПО по уровню бакалавриата. Согласно результатам, полученным при ранее проведённых исследованиях, изложенных в научном труде [18], для Оренбуржья требуется 4265 штатных единиц с уровнем образования: специалитет или магистратура и 6671 чел. – с уровнем бакалавриата.

Представленная методика расчёта численности руководителей, специалистов и других служащих для автотранспортной сферы региона применима для любых субъектов Российской Федерации. Следует также отметить, что возможный массовый переход на электротранспорт в ближайшем будущем, а также применение беспилотных мобильных машин несущественно изменит структуру управления на предприятиях автомобильного транспорта. Поэтому с учётом определённых корректировок разработанная методика и в дальнейшем будет актуальна.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основным результатом работы является методика определения структуры специалистов с автотранспортным образованием в регионе, отличающаяся от известных тем, что учитывает распределение количества подготавливаемых кадров по уровням профессионального высшего и среднего образования между автотранспортными и автообслуживающими предприятиями независимо от ведомственной принадлежности. Разработан метод структурного ранжирования персонала управления автотранспортного предприятия. Определены результаты структурного распределения персонала по уровням образования, разработан соответствующий алгоритм.

[8] Оренбургская область в цифрах. 2021: Крат. стат. сб. / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Оренбургской области. Оренбург, 2021. 126 с.

[9] Постановление Минтруда РФ от 21.08.98 № 37 «Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих».

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

Научная новизна статьи заключается в разработанной методике и сформированной структуре управления автотранспортного предприятия с учётом ранговой иерархии, алгоритме определения структуры специалистов с автотранспортным образованием в регионе и результатах определения соотношения руководящего персонала и основных производственных ремонтных рабочих на автотранспортных и автообслуживающих предприятиях по уровням высшего и среднего профессионального образования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Журавлев П. В. Мировой опыт в управлении персоналом: Обзор зарубежных источников / П. В. Журавлев. Екатеринбург: Деловая книга, 2008. 232 с.
2. Иванов О. Современный формат оценки персонала // Персонал-Микс. 2009. № 4. С.78–81.
3. Ищенко С. Д. Определение стратегического направления в работе с персоналом на основе анализа служебного поведения // Управление персоналом. 2011. № 11. С.24–30.
4. Zhao T. R. Study of Human Resource Management Benefits. Human resources management in the knowledge economy era, vols i and ii, Univ Jinan, Jinan, Peoples r China oct. 24-25. pp. 947-952 (2009).
5. Meirinhos V. A. Couto A. I. Societal Human Resources Management and Development. Innovation management and education excellence vision 2020: from regional development sustainability to global economic growth, vols I – VI, 27th International Business Information Management Association Conference, Milan, ITALY, MAY 04-05, 2016. pp. 1584-1587.
6. Якунина Н. В. Влияние состояния организационно-технологической системы на безопасность перевозок пассажиров автомобильным транспортом / Н. В. Якунина, Н. Н. Якунин, О. М. Меньших, К. В. Грибков // Автомобильная промышленность. 2018. № 1. С.20–24.
7. Yakunin N., Yakunina N., Kotov V., Kabanova O. Staffing analysis of the regional motor transport complex (by the case of the Orenburg region). The VII International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems» (ITMTS 2021), MATEC Web Conf., Volume 341, 2021.
8. Rogov A. A., Serebryakova O. I., Makarova M. A. Quality Management of the Megacities Transport Hubs Development. Design and Construction Proceedings of the 2019 ieee conference of russian young researchers in electrical and electronic engineering (EICONRUS). pp.1458-1462.
9. Mikheeva T. I., Mikheev S. V., Chugunov A. I., Methodology for the Formation of the Infrastructure of Intelligent Management of Transport Processes. 8th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS), Proceedings of the 8th scientific conference on information technologies for intelligent decision making support (ITIDS 2020) 174. pp. 228-232.
10. Grebeshkov A. Y. Optical transport network management via machine learning and ontology-based technique. 17th International Scientific and Technical Conference on Optical Technologies for Telecommuncations, Optical technologies for telecommunications. 2019. 11516.
11. Miskiewicz R and Szczepanska-Woszczyna K. Innovation Management in Polish Transport in the Industry 4.0 Perspective. 34th International-Business-Information-Management-Association (IBIMA) Conference, VISION 2025: Education excellence and management of innovations through sustainable economic competitive advantage. pp.9366-9376.
12. Chmielewski J. Transport Demand Model Management System, 3rd World Multidisciplinary Civil Engineering, Architecture, Urban Planning Symposium (WMCAUS), 3RD World multidisciplinary civil engineering, architecture, urban planning symposium (WMCAUS 2018) 471.
13. Nowicka K. Strategic role of technology for sustainable transport management. 8th Carpathian Logistics Congress on Logistics, Distribution, Transport and Management (CLC), 8th carpathian logistics congress (CLC 2018). pp. 218-223.
14. Rymkevich A. A. and Novichikhin A. V. Management of a transport and logistics terminal: models, indicators and optimization, International Scientific and Research Conference on Knowledge-Based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources. International scientific and research conference on knowledge-based technologies in development and utilization of mineral resources 377.
15. Daron M., Gorska M. Challenges and Problems of Transport Management in the Mining Sector, 33rd International-Business-Information-Management-Association (IBIMA) Conference, Education excellence and innovation management through vision. 2020. pp. 2357-2372.
16. Sojka L. Trends and Challenges in Human Resources Management in the New Millennium. Management 2016: International business and management, domestic particularities and emerging markets in the light of research, 6th International Scientific Conference on International Business and Management, Domestic Particularities and Emerging Markets in the Light of Research, Slovakia, sep 29-oct 02, 2016,pp. 162-168.
17. Strohmeier S. Digital human resource management: A conceptual clarification. German journal of human resource management-zeitschrift fur personalforschung. Volume 34. Issue 3. pp. 345-365.
18. Якунин Н. Н. Укрупнённая методика определения потребности автотранспортного комплекса региона в кадрах с профильным образованием / Н. Н. Якунин, О. Ю. Фролов, Н. В. Якунина, В. В. Котов // Вестник СибАДИ. 2021. Т.18, № 4(80). С. 416–426. DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-416-426.
19. Трофимова Л. С., Жигадло А. П. Планирование деятельности предприятий автомобильного транспорта по показателям, определяющим производительность труда работников и подвижного со-

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

става // Вестник СибАДИ. 2022. № 19(1) С. 74–83. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-1-74-83.

REFERENCES

1. Zhuravlyov P.V. *Mirovoj opyt v upravlenii personalom: Obzor zarubezhnyh istochnikov* [Global experience in human resources management: Overview of foreign sources]. Ekaterinburg, Delovaya kniga, 2008:232 p. (in Russ.)

2. Ivanov O. Sovremennyj format ocenki personala [Modern personnel assessment format]. *Personal-Mix*. 2009; 4:78-81. (in Russ.)

3. Ishchenko S. D. Opredelenie strategicheskogo napravleniya v rabote s personalom na osnove naliza sluzhebnogo povedeniya [Define strategic direction for personnel based on business conduct analysis]. *Upravlenie personalom*. 2011; 11:24-30. (in Russ.)

4. Zhao T. R. Study of Human Resource Management Benefits. Human resources management in the knowledge economy era, vols i and ii, Univ Jinan, Jinan, peoples r china oct. 24-25, pp. 947-952 (2009).

5. Meirinhos V. A. Couto A. I. Societal Human Resources Management and Development. *Innovation management and education excellence vision 2020: from regional development sustainability to global economic growth, vols I – VI,* 27th International Business Information Management Association Conference. Milan, ITALY, MAY 04-05, 2016. pp. 1584-1587.

6. Yakunina N. V., Yakunin N. N., Men'shih O. M., Gribkov K. V. Vliyanie sostoyaniya organizacionno-tekhnologicheskoj sistemy na bezopasnost' perevozok passazhirov avtomobil'nym transportom [Impact of the state of the organizational and technological system on the safety of passenger transport by road]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2018; 1: 20-24.

7. Yakunin N., Yakunina N., Kotov V., Kabanova O. Staffing analysis of the regional motor transport complex (by the case of the Orenburg region). *The VII International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems»* (ITMTS 2021), MATEC Web Conf., Volume 341, 2021.

8. Rogov A. A., Serebryakova O. I. Makarova M. A. Quality Management of the Megacities Transport Hubs Development, Design and Construction. Proceedings of the 2019 ieee conference of russian young researchers in electrical and electronic engineering (Eiconrus). pp.1458-1462.

9. Mikheeva T. I., Mikheev S. V., Chugunov A. I., Methodology for the Formation of the Infrastructure of Intelligent Management of Transport Processes. 8th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS). *Proceedings of the 8th scientific conference on information technologies for intelligent decision making support (ITIDS 2020).* 2020; 174: 228-232.

10. Grebeshkov A. Y. Optical transport network management via machine learning and ontology-based technique. 17th International Scientific and Technical Conference on Optical Technologies for Telecommuncations. Optical technologies for telecommunications. 2019. 11516.

11. Miskiewicz R. Szczepanska-Woszczyna K. Innovation Management in Polish Transport in the Industry 4.0 Perspective. 34th International-Business-Information-Management-Association (IBIMA) Conference*, VISION 2025: Education excellence and management of innovations through sustainable economic competitive advantage*. pp.9366-9376.

12. Chmielewski J. Transport Demand Model Management System. 3rd World Multidisciplinary Civil Engineering, Architecture, Urban Planning Symposium (WMCAUS)*, 3rd world multidisciplinary civil engineering, architecture, urban planning symposium (WMCAUS 2018)*. 471.

13. Nowicka K. Strategic role of technology for sustainable transport management. 8th Carpathian Logistics Congress on Logistics, Distribution, Transport and Management (CLC)*,* 8TH Carpathian logistics congress (CLC 2018). pp. 218-223.

14. Rymkevich A. A., Novichikhin A. V. Management of a transport and logistics terminal: models, indicators and optimization. International Scientific and Research Conference on Knowledge-Based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources. International scientific and research conference on knowledge-based technologies in development and utilization of mineral resources 377.

15. Daron M., Gorska M. Challenges and Problems of Transport Management in the Mining Sector. 33rd International-Business-Information-Management-Association (IBIMA) Conference. *Education excellence and innovation management through vision*. 2020: 2357-2372.

16. Sojka L. Trends and Challenges in Human Resources Management in the New Millennium. *Management 2016: International business and management, domestic particularities and emerging markets in the light of research,* 6th International Scientific Conference on International Business and Management, Domestic Particularities and Emerging Markets in the Light of Research. Slovakia. Sep 29-oct 02, 2016:162-168.

17. Strohmeier S. Digital human resource management: A conceptual clarification. *German journal of human resource management-zeitschrift fur personalforschung*, Volume 34, Issue 3. pp. 345-365.

18. Yakunin N. N., Frolov O. Yu., Yakunina N. V., Kotov V. V. Ukrupnyonnaya metodika opredeleniya potrebnosti avtotransportnogo kompleksa regiona v kadrah s profil'nym obrazovaniem [An enlarged method for determining the need for the region's motor transport complex in personnel with specialized education]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2021;4 (80): 416-426. (in Russ.) DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296- 2021-18-4-416-426

19. Trofimova L. S., Zhigadlo A. P. Activities for road transport enterprises on indicators of workers and rolling stock productivity planning. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2022; 19(1): 74-83. (In Russ.) https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-1-74-83

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Якунин Н. Н. Разработка обобщённой методики определения структуры специалистов с автотранспортным образованием в регионе.

Якунина Н. В. Разработка алгоритма обобщённой методики определения структуры специалистов с автотранспортным образованием в регионе.

Фролов О. Ю. Обобщённая методика распределения численности персонала управления автообслуживающего предприятия. Выявление аналитических закономерностей при распределении численности персонала управления автотранспортных и автообслуживающих предприятий.

Хасанов И. Х. Методика распределения численности персонала управления автотранспортного предприятия с использованием ранговой иерархии.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Nikolai N. Yakunin: the development of a generalized methodology for determining the structure of specialists with motor transport education in the region.

Natalia V. Yakunina: the development of the algorithm for a generalized methodology for determining the structure of specialists with motor transport education in the region.

Oleg Yu. Frolov: the development of the generalized methodology for distribution the number of management staff in a motor repair service enterprise, identification of the analytical regularities in the distribution the number of the management staff in motor transport and motor repair service enterprises.

Ilgiz Kh. Khasanov: the development of the methodology for distribution the number of management staff in a motor transport enterprise using a rank hierarchy.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Якунин Николай Николаевич – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой автомобильного транспорта.

Якунина Наталья Владимировна – д-р техн. наук, доц., проф. кафедры автомобильного транспорта.

Фролов Олег Юрьевич – соискатель кафедры автомобильного транспорта.

Хасанов Ильгиз Халилович – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры автомобильного транспорта.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nikolay N. Yakunin – Dr. of Sci., Professor, Head of the Automobile Transport Department.

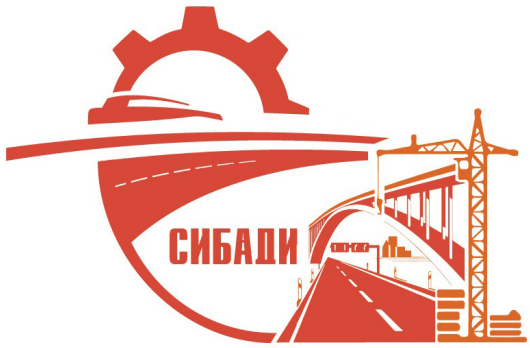
Natalia V. Yakunina – Dr. of Sci., Associate Professor, Professor of the Automobile Transport Department.

Oleg U. Frolov – Candidate of the Automobile Transport Department.

Ilgiz Kh. Khasanov – Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor of the Automobile Transport Department.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

РАЗДЕЛ III.
СТРОИТЕЛЬСТВО
И АРХИТЕКТУРА



PART III.
CONSTRUCTION
AND ARCHITECTURE

УДК 691.542, 662.73
DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-412-421
EDN: RIZZQM
Научная статья

Check for updates

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ И ТОРФОВЕРМИКУЛИТОВЫХ ГРАНУЛ

Д. С. Горкольцева*, Н. О. Копаница
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия
gorkoltsevadinara@gmail.com, https://orcid.org0000-0002-1861-8824
kopanitsa@mail.ru, https://orcid.org0000-0002-6081-6621
**ответственный автор*

АННОТАЦИЯ

Введение. *Анализ литературных и экспериментальных данных ресурсного обеспечения строительного рынка показал, что разработка новых и эффективных материалов с улучшенными параметрами качества является актуальной задачей и в долгосрочной перспективе послужит толчком к развитию рынка строительных материалов.*
На данный момент торфяная промышленность в Российской Федерации имеет низкие показатели по добыче торфяного сырья, запасы которого считаются неисчерпаемыми. Для потенциального развития торфяной отрасли на территории Сибирского региона может быть организовано производство современных теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов на основе местного сырья, залегающего в месторождениях Томской области. Применение низинного торфа и вспученного вермикулита для создания нового конкурентного материала может способствовать повышению экономического и промышленного престижа региона, что приведет к открытию новых рабочих мест.
Материалы и методы. *Проведены исследования с применением методов и испытаний, изложенных в национальных стандартах. Измерение плотности полученного материала осуществлялось в соответствии с ГОСТ 17177–94. Определение прочности образцов при сжатии и при изгибе производилось в соответствии с ГОСТ 23789–2018. Определение процента влажности образцов осуществлялось в соответствии с ГОСТ 23789–2018.*
Результаты. *Результаты проведенных исследований позволили определить основные требования к проектируемому составу легких бетонов на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул. Исследована взаимосвязь прочностных характеристик и плотности легкого бетона, установлено, что при значениях средней плотности в интервале 530–850 кг/ полученный материал соответствует основным техническим требованиям теплоизоляционных легких бетонов (ГОСТ 25820–2014).*
Обсуждение и заключение. *В работе экспериментальными исследованиями определено рациональное соотношение компонентов легких бетонов на основе гипсового вяжущего и торфовермикулитовых гранул, при котором достигаются максимальные значения прочности при минимальной плотности. На основании полученных данных было установлено, что для достижения необходимых физико-механических свойств легких бетонов на основе гипсовых вяжущих оптимальный размер торфовермикулитовых гранул должен быть не более 4–5 мм.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *торф, вермикулит, гипс, торфовермикулитовый материал, легкие бетоны, торфогипсовый композит, теплоизоляционные материалы на основе торфа, гранулированные материалы, торфовермикулитовая смесь, композиционный материал.*

Статья поступила в редакцию 31.01.2022; одобрена после рецензирования 23.05.2022; принята к публикации 10.06.2022.
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: Горкольцева Д. С., Копаница Н. О. Физико-механические свойства легких бетонов на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул // *Вестник СибАДИ.* 2022. Т.19, № 3 (85). С. 412-421. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-412-421

© Горкольцева Д. С., Копаница Н. О., 2022

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-412-421
EDN: RIZZQM
Original article

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE BASED ON GYPSUM BINDERS AND PEAT VERMICULITE GRANULES

Dinara S. Gorkoltseva*, Natalia O. Kopanitsa
Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering,
Tomsk, Russia
gorkoltsevadinara@gmail.com, https://orcid.org0000-0002-1861-8824
kopanitsa@mail.ru, https://orcid.org0000-0002-0991-8550
**corresponding author*

ABSTRACT

Introduction. *An analysis of the literature and experimental data on the resource provision of the construction market has shown that the development of new and effective materials with improved quality parameters is an urgent task, and in the long term will serve as an impetus for the development of the building materials market. Currently, the peat industry in Russia is experiencing a serious decline in the extraction of peat raw materials, the reserves of which are practically inexhaustible. One of the possible ways to develop this industry in the Tomsk region can be the organisation of the production of competitive structural, heat-insulating and heat-insulating materials using local raw materials, namely lowland peat and vermiculite, which will improve the economic prestige of the region, create new enterprises and jobs.*

Materials and methods. *The studies using the methods and tests set out in national standards were carried out. The measurement of the obtained material density was carried out in accordance with GOST 17177-94. The determination of the samples strength in compression and in bending was carried out in accordance with GOST 23789-2018. The determination of the moisture content percentage of the samples was carried out in accordance with GOST 23789-2018.*

Results. *The results of the research made it possible to determine the basic requirements for the designed composition of lightweight concrete based on gypsum binders and peat vermiculite granules. The relationship between the strength characteristics and density of lightweight concrete has been studied, it has been established that at average density values in the range of 530-850 kg/m3, the resulting material meets the basic technical requirements of heat-insulating lightweight concrete (GOST 25820-2014).*

Discussion and conclusions. *In the work, experimental studies determined the rational ratio of the components of lightweight concrete based on gypsum binder and peat vermiculite granules, at which the maximum value of their strength is achieved at a minimum average density. Based on the data obtained, it was found that in order to achieve the necessary physical and mechanical properties of lightweight concretes based on gypsum binders, the optimal size of peat-vermiculite granules should be no more than 5 mm.*

KEYWORDS: *peat, vermiculite, gypsum, peat-vermiculite material, lightweight concrete, peat-gypsum composite, heat-insulating materials based on peat, granular materials, peat-vermiculite mixture, composite material.*

The article was submitted 31.01.2022; approved after reviewing 23.05.2022; accepted for publication 10.06.2022.
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: Gorkoltseva D. S., Kopanitsa N. O. Physical and mechanical properties of lightweight concrete based on gypsum binders and peat vermiculite granules. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (3): 412-421. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-412-421

© Gorkoltseva D. S., Kopanitsa N. O., 2022

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

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из основных проблем в строительной отрасли является современная и энергоэффективная теплозащита зданий, исходя из этого, актуальной задачей является создание и разработка новых эффективных теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных строительных материалов для зданий и сооружений [1, 2, 3].

На данный момент торфяная промышленность в Российской Федерации имеет низкие показатели по добыче торфяного сырья, запасы которого считаются неисчерпаемыми. Для потенциального развития торфяной отрасли на территории Сибирского региона может быть организовано производство современных теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов на основе местного сырья, залегающего в месторождениях Томской области. Применение низинного торфа и вспученного вермикулита для создания нового конкурентного материала может способствовать повышению экономического и промышленного престижа региона, что приведет к открытию новых рабочих мест[1].

Ранее нами были проведены исследования торфовермикулитовых смесей для производства гранулированного материала, обладающего высокими теплоизоляционными свойствами, которые в свою очередь могут быть применены для строительства малоэтажных зданий. Рассмотрена возможность производства гранулированного теплоизоляционного материала на основе торфовермикулитовой смеси, проанализированы различные методы грануляции. В ходе исследований был установлен способ снижения водопоглощения гранул до 16% и увеличения их прочности на 20%, заключающийся в активации воды затворения гидрофобизирующей добавкой «Аквасил» [4].

Торф имеет уникальные свойства, низкую плотность и малую теплопроводность, данные показатели обуславливают целесообразность его использования в качестве заполнителя для легких бетонов. При проектировании различных составов и технологических режимов можно достичь высоких показателей, улучшающих структуру материала, снижения коэффициента теплопроводности и увеличения звукопоглощения легкого бетона. Анализ литературных и экспериментальных данных в ранее проведенных исследованиях показал, что применение гипсовых вяжущих для получения легких бетонов является эффективным. Необходимо отметить, что гипсовое вяжущее при взаимодействии с водой образует слабокислую среду, которая не приводит к выделению из торфа веществ, негативно влияющих на основные физико-химические свойства полученного материла [2,3,4.] [5, 6]. В настоящее время в качестве перспективных направлений использования торфовермикулитовых гранул можно рассматривать их применение как эффективного структурообразующего компонента для производства легких бетонов на основе гипсовых вяжущих. При введении в смесь формообразующих фракций гранулированного заполнителя можно получить композиционный материал с улучшенными теплотехническими характеристиками, которые позволят соответствовать основным энергосберегающим требованиям, предъявляемым к современным конструкционно-теплоизоляционным материалам.

За счет введения формообразующих фракций гранулированного заполнителя может быть получен материал с улучшенными теплофизическими характеристиками, что весьма важно учитывать при нынешних тенденциях к энергосбережению при ужесточении норм проектирования ограждающих конструкций[5]

---

[1] Горкольцева Д. С. Исследование гранулированного материала на основе торфовермикулитовой смеси / Д. С. Горкольцева, А. В. Мелак-Оглы // материалы Международного симпозиума. Томск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2020. С. 35–39.

[2] Виталова Н. М. Физико-механические характеристики композиционных теплоизоляционных плит из торфа / Н. М. Виталова, П. П. Гуюмджян, Н. Л. Марабаев // XVII Международная науч. - техн. конференция «Информационная среда вуза». Иваново, 2010. С. 88–91.

[3] Виталова Н.М. Эффективные строительные материалы на основе торфа с улучшенными теплотехническими свойствами: дис. … канд. тех. наук: 05.23.05. Ивановский государственный архитектурно-строительный университет, Иваново, 2012. С. 71–84.

[4] Смирнова О. Е. Гранулированный заполнитель на основе растительного сырья / О. Е. Смирнова, А. П. Пичугин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф.; редколлегия: М. Е. Лустенков [и др.]. 2020. С. 140–141.

[5] Хританков Н. О. Лёгкие бетоны с гранулированным органическим заполнителем, направленно изменяемой структурой и микроармирующими минеральными добавками: дис. ... д-р техн. наук: 05.23.05. Томск, 2009. 375 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

[7, 8]. В статье рассмотрена возможность производства легких бетонов на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул.

Цель исследования – разработка композиционного материала на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул, обладающего удовлетворительными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе были использованы следующие материалы: низинный торф месторождений Томской области, удовлетворяющий требованиям ГОСТ Р 52067–2003, вермикулит вспученный марки ВВТ-150, соответствующий ГОСТ 12865–67, разработанный научно-производственным объединением «Завод композиционных строительных материалов» (г. Томск). В качестве заполнителя использовались торфовермикулитовые гранулы на основе торфопасты и вспученного вермикулита. В качестве вяжущего применялся строительный гипс β-модификации марки Г-5, GS-52, (ГОСТ 125–2018) завода «Геркулес-Сибирь» (г. Новосибирск). Вода затворения (ГОСТ 23732–2011).

Гипсобетонная смесь готовилась из гипсового теста нормальной густоты и заполнителя – торфовермикулитовых гранул округлых форм (размер гранул 3–10 мм) в разных соотношениях и с разным В/Т. Отформованные образцы твердели в воздушно-влажных условиях (Т = 20–22 °С, W = 60–70%) и испытывались на прочность.

Измерение плотности полученного материала производилось в соответствии с ГОСТ 17177–94. Определение прочности образцов при сжатии и при изгибе и определение процента влажности образцов осуществлялось по ГОСТ 23789–2018.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Значительное влияние на изменения структурных и механических свойств легких бетонов на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул зависит от соотношения компонентов смеси и способа перемешивания.

Структура проектируемых легких бетонов представлена в виде каркасной системы, в которой каркасообразующий материал – торфовермикулитовые гранулы, связующий компонент – гипсовое вяжущее. В работе представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию содержания торфовермикулитовых гранул в гипсовой смеси на физико-механические свойства легкого бетона, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства легких бетонов на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул

Источник: составлено авторами.

Table 1

Physical and mechanical properties of lightweight concrete based on gypsum binders and peat vermiculite granules

Source: Compiled by the authors.

№	Содержание торфовермикулитовых гранул и гипса, % по массе	Средняя плотность, кг/	Влажность после распалубки, %	Предел прочности, МПа	
				при изгибе	при сжатии
Контр.	100	1210	19,5	4,7	6,1
1	10:90	1190	25,0	3,6	4,9
2	20:80	1100	30,0	2,9	3,7
3	30:70	916	35,5	2,05	2,85
4	40:60	850	39,5	1,4	2,20
5	50:50	680	44,5	1,5	1,60
6	60:40	603	39,5	0,50	0,82
7	70:30	530	44,0	0,30	0,62
8	80:20	460	51,0	0,22	0,44
9	90:10	378	55,0	0,15	0,40

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

По результатам проведенных исследований, представленных в таблице 1, видно, как снижаются значения средней плотности и прочности образцов при изгибе и при сжатии в случае увеличения содержания торфовермикулитовых гранул в композите, также необходимо отметить, что после распалубки увеличивается влажность образцов, это обусловлено накопленной заполнителем влагой. Для снижения влажности изделий на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых следует производить тепловую обработку в условиях, способствующих испарению воды из композита.

Результаты показали, что при плотности 530–850 кг/ прочность при изгибе составляет 0,30–1,4 МПа и при сжатии 0,62–2,40 МПа, полученный материал соответствует основным техническим требованиям теплоизоляционных легких бетонов класса В0,75-В1. (ГОСТ 25820–2014). При плотности 916–1190 кг/ прочность при изгибе составляет 2,1–3,6 МПа и при сжатии 3,2–4,9 МПа, полученный материал соответствует основным техническим требованиям конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов класса В1-В2. (ГОСТ 25820–2014). Следует отметить, что прочностные характеристики достигаются при меньшем значении средней плотности, это делает материал более эффективным по сравнению с известными аналогами, такими как цементовермикулитовые и цементоперлитовые плиты.

Влажность образцов после распалубки зависит от содержания гранул в композите, при соотношении торфовермикулитовые гранулы: гипс 20:80, влажность после распалубки равна 30%, при 80:20 – 51%. Необходимо отметить, что при 30:70 достигаются оптимальные физические свойства по прочности, плотности и влажности при распалубке[6] [9, 10].

Установлено, что при увеличении содержания гранул снижается средняя прочность материала, при наименьшем содержании гипсового вяжущего в композите соответственно уменьшаются контакты частиц торфовермикулитовых гранул в легком бетоне, из-за этого структурная система становится более подвижной и способствует появлению дефектов и трещин в полученном образце.

При увеличении гипсового вяжущего повышается средняя плотность и прочность композита. Согласно ГОСТ 32496–2013 допускается использование частиц с размерами от 3 до 10 мм.

Представленные результаты экспериментальных исследований позволяют сделать вывод о том, что для достижения требуемых физико-механических свойств проектируемых легких бетонов на основе гипсового вяжущего и торфовермикулитовых гранул следует применять частицы размерами до 4–5 мм. Увеличение размера частиц заполнителя более 5 мм приведет к снижению средней прочности композита.

Это объясняется перераспределением внутренних усилий в композите, который в значительной мере зависит от соотношения жесткостей или модулей деформации его компонентов. Частицы торфовермикулитового гранулированного заполнителя менее жёсткие, чем обволакивающая их гипсовая матрица. Если модуль деформации частиц торфовермикулитовых гранул ниже модуля затвердевшего гипсового камня, то полученный композит практически не может достичь прочности вяжущего. Следовательно, с увеличением модуля деформации торфовермикулитового гранулированного заполнителя возрастает прочность изготовленного на его основе композиционного материала [11,12].

Вода затворения оказывает особое влияние на физико-механические свойства легкого бетона на основе гипсового вяжущего и торфовермикулитовых гранул. Необходимо отметить, что при активном перемешивании происходят структурные изменения составляющих компонентов смеси и свойств воды, что впоследствии влияет на прочностные характеристики материала. Экспериментально установлено существование связи между количеством воды затворения и прочностью легкого бетона, при котором достигается максимальное значение при минимальной средней плотности, для образцов состава 3 «торфовермикулитовые гранулы – гипс» 1:1,5 при количестве воды затворения 15% (рисунок).

[6] Горкольцева Д. С. Гранулированный материал на основе торфовермикулитовой композиции применительно к деревянным конструкциям зданий // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2021. С. 29–31.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

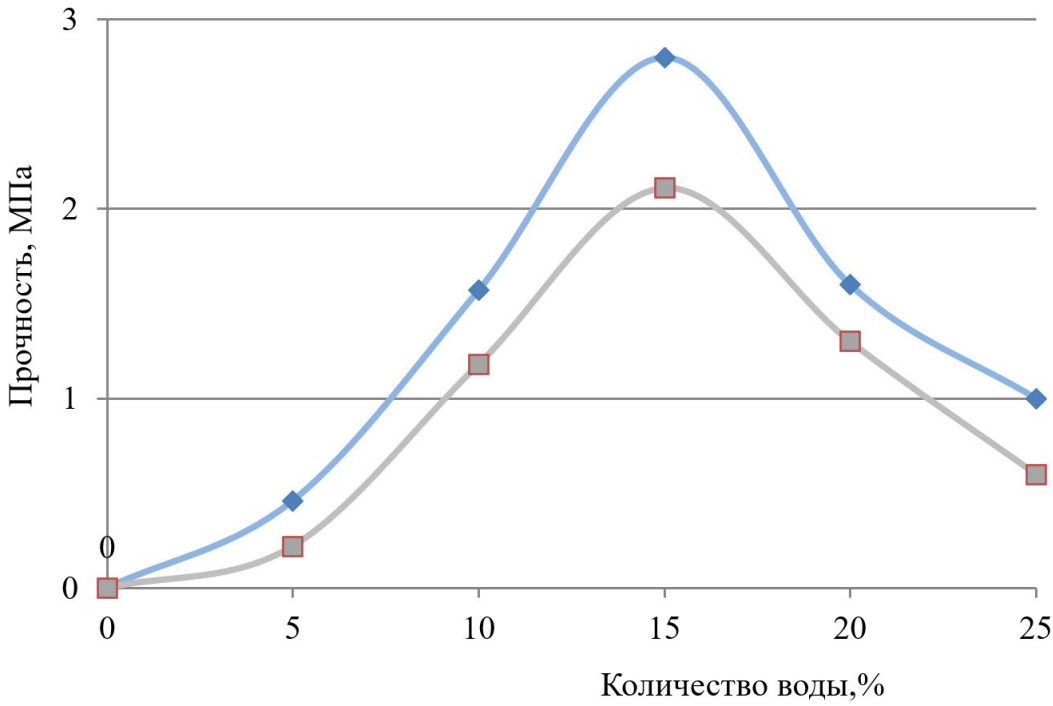


Рисунок – Влияние количества воды на предел прочности легкого бетона: 1 – при сжатии; 2 – при изгибе
Источник: Составлено авторами.

Figure – Influence of the amount of water on the tensile strength of lightweight concrete, 1 - in compression; 2 - when bending
Source: compiled by the authors.

Исходя из результатов исследования физико-механических свойств полученных легких бетонов, необходимо выделить главные требования, предъявляемые к проектируемому составу:

- наименьшее значение средней плотности при максимальных теплоизоляционных характеристиках;
- соответствующие значения прочности при сжатии и при изгибе для технологического обеспечения эксплуатационных свойств конструкционно-теплоизоляционных материалов;
- гидрофобность и водостойкость;
- огнестойкость[7] [12].

Одним из важных технологических процессов в приготовлении легких бетонов исследуемого состава является эффективность способа смешивания компонентов бетонной смеси для гомогенного распределения частиц гипсового теста на поверхности торфовермикулитовых гранул. Эффективность перемешивания зависит от способности компонентов взаимодействовать между собой. Количество воды в экспериментальных исследованиях подбиралось в процентном соотношении. В работе исследованы три способа смешивания компонентов легкого бетона, представленные в таблице 2.

Первый способ – в лабораторный смеситель последовательно загружаются и смешиваются между собой торфовермикулитовые гранулы и гипс, далее добавляется вода затворения, после чего смесь перемешивается до однородного состояния.

[7] Виталова Н. М. Эффективные строительные материалы на основе торфа с улучшенными теплотехническими свойствами: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Виталова Нина Михайловна; [Иван. гос. архитектур-строит. ун-т]. Иваново, 2012. 19 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

Таблица 2
Способы перемешивания легкого бетона на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул
Источник: составлено авторами.

Table 2
Methods for mixing lightweight concrete based on gypsum binders and peat vermiculite
Source: compiled by the authors.

Способ перемешивания	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность, МПа	
		при изгибе	при сжатии
1	580	0,64	0,92
2	610	0,55	0,91
3	620	0,76	1,34

Второй способ – в лабораторном смесителе готовится гипсовое тесто, затем добавляются торфовермикулитовые гранулы, полученная смесь перемешивается до однородного состояния.

Третий способ – в лабораторном смесителе готовится гипсовое тесто, торфовермикулитовые гранулы предварительно смачиваются частью воды затворения для их насыщения и добавляются в гипсовое тесто, полученная смесь перемешивается.

Из данных таблицы 2 видно, что разные способы приготовления гипсобетонной смеси приводят к различным свойствам затвердевшего гипсобетона. Из приведенных данных видно, что максимальное значение прочности достигается при третьем способе перемешивания компонентов. Необходимо сказать, что увеличение или уменьшение рационального времени и интенсивности перемешивания приводит к ухудшению качества смеси, что в конечном итоге влияет на физико-механические свойства полученных легких бетонов. Так, например, при увеличении продолжительности перемешивания торфогипсовой смеси более 7 мин слабые частицы заполнителя разрушаются, в результате чего меняется гранулометрический состав исходных компонентов [8,9,10,11,12] [13, 14]. При уменьшении времени перемешивания ухудшается качество материала за счет снижения гомогенности. Существенно снижается качество легкого бетона также, когда появляется недостаток воды и гипсового вяжущего. Показатель подвижности смеси, в

[8] Виталова Н. М. Исследование процесса структурообразования торфяного композита / Н. М. Виталова,. Л. Марабаев // XVIII Международная науч. - техн. конференция «Информационная среда вуза». Иваново, 2011. С. 186–189.

[9] Горкольцева Д. С., Копаница Н. О. Гранулированный материал из торфовермикулитовой смеси для легких бетонов // Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. С. 353–358.

[10] Горкольцева Д. С. Исследование физико-механических свойств теплоизоляционных материалов на основе торфа // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Д. С. Горкольцева. Томск: Издательство Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, 2020. С. 36–38.

[11] Смирнова О. Е., Пичугин А. П. Исследование прессованных теплоизоляционных материалов // Материалы III Международной научно-практической конференции. Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), ООО Лакокрасочный завод «Колорит». 2020. С. 230–237.

[12] Горкольцева Д. С. Исследование и обоснование компонентного состава теплоизоляционного материала на основе торфа применительно к купольному строительству // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2019. С. 40–42.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

свою очередь, зависит от вида заполнителя, его гранулометрического состава, расхода и вида вяжущего вещества. Для получения необходимой пластичности торфогипсовой смеси и нужной прочности затвердевшего легкого бетона требуется не только тщательный подбор состава из качественных заполнителей, но и соблюдение их точного дозирования. Компоненты должны быть тщательно перемешаны при определенной интенсивности процесса. Именно такое строгое соблюдение технологических параметров процесса позволит получить конечный продукт с заранее заданными свойствами.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты проведенных исследований позволили определить основные требования к проектируемому составу легких бетонов на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул. Результаты проведенных исследований позволили определить, что при увеличении содержания торфовермикулитовых гранул в композите снижаются значения средней плотности и прочности образцов при изгибе и при сжатии, также необходимо отметить, что после распалубки увеличивается влажность композита. Результаты показали, что при плотности 530–850 кг/ прочность при изгибе составляет 0,30–1,4 МПа и при сжатии 0,62–2,40 МПа, полученный материал соответствует основным техническим требованиям теплоизоляционных легких бетонов класса В0,75-В1. (ГОСТ 25820– 2014). При плотности 916–1190 кг/ прочность при изгибе составляет 2,1–3,6 МПа и при сжатии 3,2–4,9 МПа, полученный материал соответствует основным техническим требованиям конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов класса В1-В2. (ГОСТ 25820–2014).

Анализируя данные эксперимента, можно сделать вывод о том, что для достижения требуемых физико-механических свойств проектируемых легких бетонов на основе гипсового вяжущего и торфовермикулитовых гранул следует применять частицы размерами до 4– 5 мм.

Экспериментальными исследованиями определено соотношение компонентов легких бетонов, при котором достигается максимальное значение их прочности при минимальной средней плотности – «торфовермикулитовые гранулы: гипс» 1:1,5 при количестве воды затворения 15%.

Из приведенных данных можно утверждать, что разрабатываемые легкие бетоны на основе гипсовых вяжущих и торфовермикулитовых гранул обладают удовлетворительными физико-механическими свойствами, исходя из этого возможно получение композиционных изделий с наилучшими теплоизоляционными и конструкционно-теплоизоляционными свойствами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Копаница Н. О. Теплоизоляционные торфодревесные строительные материалы / Н. О. Копаница, А. И. Кудяков, М. А. Ковалева. Томск: STT, 2009. 183 с.

2. Копаница Н. О., Кудяков А. И., Саркисов Ю. С. Строительные материалы и изделия на основе модифицированных торфов Сибири. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2013. 295 с.

3. Копаница Н. О., Ковалева М. А. Исследование вяжущих свойств низинных торфов // Вестник ТГАСУ. 2012. № 4. С. 153 –158.

4. Горкольцева Д. С., Копаница Н. О. Торфовермикулитовые смеси для производства теплоизоляционного гранулированного материала // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021;23(5):93-104. https://doi.org/10.31675/1607-1859-2021-23-5-93-104

5. Гуюмджян П. П., Ветренко Т. Г., Виталова Н. М. Производство экологически безопасных строительных материалов на основе торфа и гипса // Вестник МГСУ. 2012. № 1. С. 94–99.

6. Пичугин А. П., Хританков В. Ф., Смирнова О. Е. Строительные материалы из растительного сырья: монография. НГАУ, 2020. 207 с.

7. Аветов Н. А., Кузнецов О. Л., Шишконакова Е. А. Опыт использования классификации и диагностики почв России в систематике торфяных почв биогеоценозов олиготрофных болот северо-таежной подзоны Западной Сибири // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2019. № 4. С. 37–47.

8. Пичугин А. П. Ресурсы и местное сырье в строительном материаловедении / А. П. Пичугин, А. С. Денисов, Х. В. Фишер // Инновации и продовольственная безопасность. 2019. № 1 (15). С. 38–6.

9. Виталова Н. М. Использование торфа для изготовления теплоизоляционных плит // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 8. С. 68–71.

10. Kurmangalieva A. I., Anikanova L. A., Volkova O. V., Kudyakov A. I., Sarkisov Yu. S., Abzaev Yu. A. Activation of hardening processes of fluorogipsum compositions by chemical additives of sodium salts // ChemChemTech. 2020. T. 63. No 8. pp. 73-80.

11. Кудяков А. И., Копаница Н. О., Прищепа И. А., Шаньгин С. Н. Конструкционно-теплоизоляционные пенобетоны с термомодифицированной торфяной добавкой // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. №1 (38). С. 172–177.

12. Malik S. S., Fasih A. K., Yasir I. B., Fayaz A. K., Muhammad F., Asim A., Waqas A.,Evaluation of Mechanical Properties of Lightweight Concrete with

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Pumice Aggregate, Adv. Sci. Technol. Res. J. 2021; 15(2):30–38.

13. Pykin A. A., Gornostaeva E. Y., Lukutsova N. P., Pykina J. S. Lightweight Concrete Based on Gypseous. Binding Materials, Modified with Microcrystalline Cellulose, and Cavitationly Processed Sawdust, Materials Science Forum. 2019. pp.188-192.

14. Smirnova O. E., Pichugin A. P. Structural and thermal insulation products based on vegetable raw materials // Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety - 2. Building Materials and Products. 2019. C.20-24.

REFERENCES

1. Kopanica N. O., Kudjakov A. I., Kovaleva M. A. Teploizoljacionnye torfodrevesnye stroitel'nye materialy [Heat-insulating peat-wood construction materials]. Tomsk: STT, 2009. 183 p. (in Russ.)

2. Kopanica N. O., Kudjakov A. I., Sarkisov Ju. S. Stroitel'nye materialy i izdelija na osnove modificirovannyh torfov Sibiri [Building materials and products based on modified peat in Siberia]. Tomsk: Izd-vo TGASU, 2013. 295 p. (in Russ.)

3. Kopanica N. O., Kovaleva M. A. Issledovanie vjazhushhih svojstv nizinnyh torfov [Study of the binding properties of lowland peat]. *Vestnik TGASU*. 2012; 4: 153 –158. (in Russ.)

4. Gorkol'ceva D. S., Kopanica N. O. Torfovermikulitovye smesi dlja proizvodstva teploizoljacionnogo granulirovannogo materiala [Peat-vermiculite mixtures for the production of heat-insulating granular material]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2021; 23 (5):93-104. https://doi.org/10.31675/1607-1859-2021-23-5-93-104 (in Russ.)

5. Gujumdzhjan P. P., Vetrenko T. G., Vitalova N. M. Proizvodstvo jekologicheski bezopasnyh stroitel'nyh materialov na osnove torfa i gipsa [Production of environmentally friendly building materials based on peat and gypsum]. *Vestnik MGSU*. 2012; 1: 94 –99. (in Russ.)

6. Pichugin A. P., Hritankov V. F., Smirnova O. E. *Stroitel'nye materialy iz rastitel'nogo syr'ja. Monografija [*Building materials from vegetable raw materials. Monograph]. NGAU, 2020. 207 p. (in Russ.)

7. Avetov N. A., Kuznecov O. L., Shishkonakova E. A. Opyt ispol'zovanija klassifikacii i diagnostiki pochv Rossii v sistematike torfjanyh pochv biogeocenozov oligotrofnyh bolot severo-taezhnoj podzony Zapadnoj Sibiri [Experience in the use of Russian soil classification and diagnostics in the systematics of peat soils in biogeocenoses of oligotrophic bogs in the north taiga subzone of Western Siberia]. *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 17, pochvovedenie*. 2019; 4: 37-47. (in Russ.)

8. Pichugin A. P., Denisov A. S., Fisher X. V. Resursy i mestnoe syr'e v stroitel'nom materialovedenii. *Innovacii i prodovol'stvennaja bezopasnost'*. 2019; 1 (15): 38-6. (in Russ.)

9. Vitalova N. M. Ispol'zovanie torfa dlja izgotovlenija teploizoljacionnyh plit [The use of peat for the manufacture of heat-insulating plates]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2011; 8: 68 - 71. (in Russ.)

10. Kurmangalieva A. I., Anikanova L. A., Volkova O. V., Kudyakov A. I., Sarkisov Yu. S., Abzaev Yu. A. Activation of hardening processes of fluorogipsum compositions by chemical additives of sodium salts. *ChemChemTech*. 2020; T. 63. No 8: 73-80.

11. Kudjakov A. I., Kopanica N. O., Prishhepa I. A., Shan'gin S. N. Konstrukcionno-teploizoljacionnye penobetony s termomodificirovannoj torfjanoj dobavkoj [Structural and thermally insulating foam concrete with thermally modified peat additive]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2013: 1 (38): 172-177. (in Russ.)

12. Malik S. S., Fasih A. K., Yasir I. B., Fayaz A. K., Muhammad F., Asim A., Waqas A., Evaluation of Mechanical Properties of Lightweight Concrete with Pumice Aggregate, Adv. sci. Technol. Res. J. 2021; 15(2):30–38.

13. Pykin A. A., Gornostaeva E. Y., Lukutsova N. P., Pykina J. S. Lightweight Concrete Based on Gypseous. *Binding Materials, Modified with Microcrystalline Cellulose, and Cavitationly Processed Sawdust, Materials Science Forum*. 2019: 188-192.

14. Smirnova O. E., Pichugin A. P. Structural and thermal insulation products based on vegetable raw materials. Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety - 2. *Building Materials and Products*. 2019: 20-24.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Копаница Н. О. Формулировка направления и темы исследования, подбор теоретической базы для проведения эксперимента. Контроль и консультирование по вопросам эксперимента и написанию статьи.

Горкольцева Д. С. Проведение экспериментов. Организация и расшифровка данных физико-химических методов исследования цементных композиций, написание, редактирование и оформление статьи.

COAUTHOR'S CONTRIBUTION

Natalia O. Kopanitsa. Statement of a research area, selection of a theoretical basis for the experiment. Managing and consulting on the questions of the experiment and writing the article.

Dinara S. Gorkoltseva. Conducting experiments. Organisation and interpretation of the data of physical and chemical methods for the study of cement compositions, writing, editing and design of the article.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Копаница Наталья Олеговна – д-р. техн. наук, проф. кафедры строительных материалов и технологий.

Горкольцева Динара Сергеевна – аспирант 4-го года обучения кафедры строительных материалов и технологий.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Natalia O. Kopanitsa – Dr. of Sci., Professor of the Building Materials and Technologies Department.

Dinara S. Gorkoltseva – 4-year postgraduate student of the Building Materials and Technologies Department.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

УДК 625.731.625.85.06
DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-422-435
EDN: PWQXQS
Научная статья

Check for updates

ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА МОНОЛИТНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ВОЗДУХА

А. А. Лыткин
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск, Россия
alex.lytkin2016@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0002-2557-0502

АННОТАЦИЯ

Введение. *Повышение долговечности дорожных конструкций и продление строительного сезона по устройству монолитных слоев дорожных одежд являются актуальными задачами. Особый интерес при этом представляют дорожные одежды нежесткого типа. Замена оснований из зернистых материалов (щебень, гравий и т. п.) на монолитные позволяет снизить материалоёмкость дорожной одежды на 20–50%, стоимость строительных работ до 45% и повысить срок службы дорог в 1,5–2 раза. Продление строительного сезона по устройству монолитных оснований способствует повышению темпов строительства, более рациональному использованию дорожно-строительной техники, закреплению на предприятии высококвалифицированных специалистов и уменьшению накладных расходов. Особый интерес при этом представляют многотоннажные отходы, обладающие самостоятельными вяжущими свойствами, например белитовые шламы глиноземного производства. Статья посвящена комплексному исследованию физико-механических и технологических свойств натурального белитового шлама с целью использования его для устройства монолитных слоев дорожных и аэродромных одежд в зимний период, без введения противоморозных добавок.*

Материалы и методы. *Термоэлектрическим методом установлена температура начала замерзания белитового шлама минус 2 °С. Изучена его уплотняемость в интервале отрицательных температур, способность к восстановлению разрушенной структуры после повторного уплотнения, закономерности остывания материала в процессе технологических операций по устройству конструктивных слоев в зимний период. Уплотняемость изучали путем прессования образцов из шлама оптимальной влажности при его температурах от 20 до минус 10 °С. Исследование процессов структурообразования шлама и шламощебеночного материала заключалось в изучении кинетики твердения образцов, хранящихся в климатических камерах, моделирующих изменение среднемесячных температур воздуха в годовом цикле (от 20 °С до минус 20 °С) и в естественных условиях (на открытом воздухе). Параллельно выполнялись термографические и электронно-микроскопические исследования новообразований в твердеющем материале. Для изучения закономерностей остывания шламовых слоев провели лабораторный эксперимент, моделирующий двухстороннее (сверху и снизу) промораживание материала в климатической камере при температурах минус 10, минус 15 и минус 25 °С.*

Результаты. *Выявлен комплекс уникальных физико-химических и технологических свойств натурального белитового шлама, заключающихся: в сохранении исходной плотности и активности после замораживания, способности шлама и шламощебеночного материала к твердению при отрицательных температурах, пониженной температуре замерзания минус 2 °С, хорошей уплотняемости в интервале отрицательных температур (до минус 6 °С). Исследованы температурно-технологические параметры заготовки шлама для производства работ в зимнее время. Изучены закономерности остывания шлама в технологическом процессе по устройству конструктивных слоев в зимний период. Разработана технология устройства монолитных слоев дорожных одежд из белитового шлама и шламощебеночного материала при отрицательных температурах воздуха до минус 20 °С. Обобщен практический опыт применения белитового шлама при строительстве дорог во II–IV дорожно-климатических зонах.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *белитовый шлам, метод раннего замораживания, медленно твердеющее вяжущее, шламощебеночный материал, зимний период, теплопотери, удобоукладываемость, критическая температура.*

Статья поступила в редакцию 27.04.2022; одобрена после рецензирования 24.05.2022; принята к публикации 10.06.2022.

© Лыткин А. А., 2022

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

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: Лыткин А. А. Опыт строительства монолитных слоев дорожных одежд при отрицательных температурах воздуха // *Вестник СибАДИ.* 2022. Т.19, № 3 (85). С. 422-435. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-422-435

DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-422-435
EDN: PWQXQS
Original article

EXPERIENCE IN CONSTRUCTION OF MONOLITHIC ROAD PAVEMENTS AT SUB-ZERO AIR TEMPERATURES

A. A. Lytkin
Siberian State Automobile and Highway University (SibADI),
Omsk, Russia
alex.lytkin2016@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0002-2557-0502

ABSTRACT

Introduction. *Increasing the durability of road structures and extending the construction season for the installation of monolithic road pavements are urgent tasks. Non-rigid road pavements are of particular interest. Replacing the bases of granular materials (crushed stone, gravel, etc.) with monolithic ones reduces the material consumption of the road surface by 20-50%, the cost of construction works by up to 45% and increases the service life of roads by 1.5-2 times. The extension of the construction season for the installation of monolithic bases contributes to an increase in the pace of construction, a more rational use of road construction equipment, securing highly qualified specialists at the enterprise and reducing overhead costs. A multi-tonnage waste having independent binding properties is of particular interest, for example, belite sludge of alumina production. The article is devoted to a comprehensive study of the physical mechanical and technological properties of natural belite sludge in order to use it for the making of monolithic layers of road and airfield pavement in winter, without the introduction of antifreeze additives.*
Materials and methods. *The freezing temperature of the belite sludge of minus 2 ° C was determined by the thermoelectric method. Its compactibility in the range of negative temperatures, the ability to restore the destroyed structure after re-compaction, the regularities of cooling of the material during technological operations for the construction of structural layers in winter are studied. The compaction was studied by pressing samples from sludge of optimal humidity, at its temperatures from 20 to minus 10°C. The study of the processes of structure formation of sludge and sludge crushed stone materials consisted in studying the kinetics of hardening of samples stored in climatic chambers that simulate changes in average monthly air temperatures in an annual cycle (from 20°C to minus 20°C) and in natural conditions (outdoors). In parallel, thermographic and electron microscopic studies of neoplasms in the hardening material were performed. To study the regularities of the cooling of the sludge layers, a laboratory experiment was conducted that simulates two-way (top and bottom) freezing of the material in a climatic chamber at temperatures of minus 10, minus 15 and minus 25°C.*
Results. *A complex of unique physical chemical and technological properties of natural belite sludge has been identified, which consist in maintaining the initial density and activity after freezing, the ability of sludge and sludge crushed stone materials to harden at negative temperatures, a reduced freezing temperature of minus 2°C, good compaction in the range of negative temperatures (up to minus 6°C). The temperature and technological parameters of the sludge preparation for the production of works in winter are investigated. The regularities of sludge cooling in the technological process for the construction of structural layers in winter are studied. A technology has been developed for the making of monolithic layers of the road pavement made of belite sludge and crushed stone materials at negative air temperatures up to minus 20°C. The practical experience of the belite sludge use in the construction of roads in 2-4 road-climatic zones is summarized.*

KEYWORDS: *belite sludge, early freezing method, slow-hardening binder, sludge crushed stone material, winter period, heat loss, remoldability, critical temperature.*

© Lytkin A. A., 2022

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

The article was submitted 27.04.2022; approved after reviewing 24.05.2022; accepted for publication 10.06.2022.
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: Lytkin A. A. Experience in construction of monolithic layers of road pavement at sub-zero air temperatures. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2022; 19 (3): 422-435. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-422-435

ВВЕДЕНИЕ

Одним из путей повышения долговечности дорожных конструкций является строительство монолитных оснований дорожных одежд. Срок службы нежестких дорожных одежд с монолитными основаниями из материалов, обработанных минеральными вяжущими, в 1,5–2,0 раза больше, чем с основаниями из дискретных материалов [1, 2]. Рост темпов строительства дорог существенно сдерживается из-за сезонного характера устройства таких оснований. В настоящее время детально исследованы и опробованы на практике методы строительства цементобетонных и цементогрунтовых оснований при отрицательных температурах воздуха[1] [3]. Принцип реализации этих методов заключается в создании благоприятных тепловлажностных условий для набора материалом критической прочности, после достижения которой он может быть заморожен. Это осуществляется путем применения специальных мер: введением в смеси противоморозных добавок, утеплением уложенных слоев теплоизоляционными материалами, электропрогревом и т. п. Указанные методы не нашли достаточно широкого внедрения в дорожной отрасли, так как они энергоемки, низкопроизводительны, значительно удорожают и усложняют работы[2]. В 60-х годах прошлого столетия была предложена технология устройства цементобетонных оснований способом раннего замораживания [4]. Принципиальное отличие этого способа от традиционных заключается в том, что не создаются условия для набора бетоном критической прочности, а смесь укладывается на мерзлый подстилающий слой и замораживается до начала схватывания цемента, то есть до образования жестких кристаллических связей в материале. Однако проверочные исследования, проведенные НИИЖБ, показали, что в производственных условиях осуществить такую технологию без потерь прочности и морозостойкости бетона невозможно, так как материал не успевает замерзнуть до начала схватывания цемента [5]. Для предотвращения потери прочности бетона необходимо повторное вибрирование смеси после ее оттаивания [6]. Качественное вибрирование бетона выполнить очень сложно, так как оттаивание его происходит тоже медленно и после оттаивания он никогда не бывает по всему сечению слоя в пластическом состоянии.

Следовательно, для эффективного использования способа раннего замораживания необходимо значительно удлинить сроки схватывания и твердения материала, чтобы дать ему возможность полностью замерзать и оттаивать до потери пластических свойств, то есть до начала кристаллообразования. Осуществить это можно, заменив портландцемент медленнотвердеющим бесклинкерным вяжущим, например шлаковым[3] [7]. Особый интерес при этом представляет белитовый шлам – многотоннажный отход глиноземного производства, который без дополнительного измельчения, за счет высокого содержания белита (C2 S), обладает свойствами грубодисперсного медленнотвердеющего вяжущего. Многолетний производственный опыт подтвердил высокую техническую и экономическую эффективность использования этого материала при строительстве монолитных слоев дорожных и аэродромных одежд при положительных температурах воздуха[4] [8]. Однако невостребо-

[1] Пособие по строительству покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов из грунтов, укрепленных вяжущими материалами, к СНиП 3.06.03-85 и СНиП 3.06.06-88 Минтрансстрой СССР. М.: Союздорнии, 1990. 203 с.

[2] Доклады от СССР XIY Международному конгрессу (Прага, 1971 г.). М.: Транспорт, 1973. 180 с.

[3] Белоусов Б. В., Асматулаев Б. А. Твердение шлаковых вяжущих на морозе // Строительство и эксплуатация дорог в условиях Сибири: Межведомственный сборник. НИСИ, СибАДИ. Новосибирск: НИСИ, 1978 С. 102 –109.

[4] Методические рекомендации по устройству дорожных оснований и переходных покрытий с применением белитового шлама в нефтегазоносных районах Западной Сибири. Минтрансстрой СССР. М.: Союздорнии, 1986. 28 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ванные запасы этого отхода на шламоотвалах предприятий алюминиевой промышленности России составляют сотни миллионов тонн. На сегодняшний день только на АО «РУСАЛ Ачинск» объемы белитового шлама (нефелинового) составляют примерно 220 млн т. при ежегодном поступлении на шламоотвал 6–7 млн т. Разработка зимней технологии устройства монолитных слоев дорожных одежд с применением шлама без противоморозных добавок требует научного обоснования.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Дать теоретическое обоснование возможности применения белитового шлама для устройства монолитных слоев дорожных одежд в зимний период.

2. Изучить процессы структурообразования шлама и шламощебеночных материалов при отрицательных температурах.

3. Изучить закономерности остывания шлама при его заготовке, длительном хранении и технологическом процессе конструктивных слоев дорожных одежд при отрицательных температурах воздуха.

4. Осуществить опытно-экспериментальное строительство монолитных слоев дорожных одежд с применением белитового шлама при отрицательных температурах воздуха и разработать практические рекомендации.

СВОЙСТВА БЕЛИТОВОГО ШЛАМА

Белитовый шлам образуется при производстве глинозема (оксида алюминия) из нефелиновых и бокситовых руд способом спекания. Из спека путем гидротермального выщелачивания выделяют глинозем, а пескообразный полупродукт шлам по шламопроводу подается в отвал.

В результате технологического процесса производства глинозема происходит частичная гидратация шламовых зерен с образованием на их поверхности оболочек гидратов, находящихся преимущественно в гелевидном состоянии. В зависимости от перерабатываемой руды белитовый шлам подразделяют на нефелиновый и бокситовый [9]. В данной статье представлены материалы по использованию нефелинового шлама.

Таблица 1

Физико-механические свойства нефелинового шлама текущего производства

Источник: составлено автором.

Table 1

Physical and mechanical properties of nepheline sludge of current production

Source: compiled by the author.

Наименование свойств	Показатели
Модуль крупности	1,2–1,7
Истинная плотность	2,91–3,04 г/см³
Насыпная плотность во влажном состоянии, кг/м³	900–1100
Удельная площадь поверхности	300–750 см ²/г
Микропористость	35–60% при размере пор от 10 до 1000 мкм
Коэффициент теплопроводности при стандартной плотности, Вт /(м×К)	0,57–0,66
Оптимальная влажность, %	23–26
Средняя плотность в уплотненном состоянии при оптимальной влажности под нагрузкой 15 МПа, т/м³	1,8–1,85
Предел прочности на сжатие, МПа: - сразу после уплотнения под нагрузкой 15 МПа; - через 90 сут; - через 1 год	 1,0–1,2 4,0–6,0 9,0–10,0
Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа: - через 90 сут; - через 1 год	 1,6–2,4 2,6–3,0

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

По фазовому составу нефелиновый шлам представляет в основном смесь силикатов, гидросиликатов (20–30%) и гидроалюминатов кальция (3–5%), гидроферритов, карбонатов. Содержание С2 S в шламе составляет 70–85%. Следовательно, шлам является полимерным материалом с преобладающим содержанием белита полиаморфной формы β, сцементированного массой гидратов. Фракционный состав шлама характеризуется превалирующим содержанием фракций 0,315–0,5 мм и 0,08–0,315 мм, в сумме превышающих 50% массы.

Физико-механические свойства шлама представлены в таблице 1.

Белит придает шламу способность омоноличиваться в момент уплотнения во влажном состоянии и увеличивать свою прочность в течение многих лет [10].

Приведенные данные свидетельствуют о том, что нефелиновый шлам в рядовом виде (без дополнительного измельчения) уплотненный при оптимальной влажности (22–26%) по показателям прочности, при нормативном сроке твердения для медленнотвердеющих вяжущих 90 сут, соответствует маркам от М40 до М60. При этом сохраняется тенденция к дальнейшему набору прочности за счет большого резерва негидратированного вяжущего [9].

Исследование процессов структурообразования белитового шлама и влияния отрицательных температур на его технологические свойства

Непременным условием качественного строительства в зимний период является удобоукладываемость материала в процессе всех технологических операций по устройству конструктивного слоя, а также сохранение им требуемой плотности и способности к твердению после морозного воздействия. Поэтому для разработки зимней технологии необходимо было исследовать процессы структурообразования шлама и шламощебеночного материала при отрицательных температурах. Установить температуру замерзания шлама, изучить его уплотняемость в интервале отрицательных температур, способность к восстановлению разрушенной структуры после повторного уплотнения, закономерности остывания в процессе заготовки, длительного хранения и технологических операций по устройству конструктивных слоев в зимний период.

Изучение процессов структурообразования шлама и шламощебеночного материала включало: изучение влияния морозного воздействия на плотность свежеуложенных материалов; изучение кинетики их твердения при различных температурных режимах и влияние подвижных нагрузок на характер твердения.

Влияние морозного воздействия на плотность шлама и шламощебеночного материала изучали путем фиксации изменения объема образцов после замораживания с помощью специально сконструированного прибора. При проведении эксперимента использовали методы математического планирования. Плотность материала после замораживания характеризовали коэффициентом разрыхления (Кр).

$$Кр = \frac{\gamma^{I}_{ск}}{\gamma_{ск}}, \quad (1)$$

где $\gamma_{ск}$ – наибольшая плотность материала до замораживания, г/см³;

$\gamma^{I}_{ск}$ – плотность материала после замораживания, г/см³.

Коэффициент разрыхления (выходной параметр) является функцией трех основных факторов: влажности материала (15–24%), его начальной плотности (1,34–1,6) и температуры замораживания (минус 5 – минус 50 ºС).

Результаты эксперимента показали, что Кр снижается максимум на 0,01, что свидетельствует о незначительном разуплотнении шлама после замораживания. Причем разуплотняются только образцы с минимальной плотностью и максимальной влажностью (Кр = 0,99). При стандартной плотности, при любых значениях влажности и температуры замораживания образцы практически не разуплотняются. Кр шламощебеночных образцов во всех опытах равен 1,0. Данный эффект объясняется наличием на поверхности шламовых зерен оболочек гидратов, находящихся преимущественно в гелевидном состоянии. По аналогии с механизмом замерзания и твердения цементных растворов и бетонов, замороженных на стадии формирования коагуляционной структуры в период коллоидации цемента, гидратные оболочки воспринимают на себя давление от замерзшей воды и сжимаются. Зерна при этом остаются в первоначальном положении и материал не разуплотняется [11]. Напряжения, возникающие под действием кристаллизационного давления, должны также существенно снижаться за счет отжимания части незамерзшей воды в резервные поры, так как шлам обладает высокой микропористостью, 35–60% (см. таблицу1).

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что слои дорожной одежды из белитового шлама и шламощебеночного материала, уплотненные до

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

требуемой плотности в зимний период, нет необходимости специально повторно уплотнять после их оттаивания весной.

Для изучения кинетики твердения шлама по стандартной методике изготавливались и испытывались образцы – балочки размером 4×4×16 см. Образцы хранили при следующих температурных режимах: в нормальных условиях при температуре 20 ± 2 ºС (контрольные образцы); в климатических камерах, моделирующих изменение среднемесячных температур воздуха в годовом цикле (от 20 °С до минус 20 °С), по данным метеостанций районов предполагаемого строительства (Красноярск, Омск, Тюмень, Томск и Новосибирск); в естественных условиях (на открытом воздухе) в г. Омске. Образцы разных серий отличались исходной влажностью 15, 23 и 28%. Температурные режимы твердения образцов в климатических камерах принимали для моделирования строительства в весенних условиях по марту, апрелю, осенних – октябрю, ноябрю, а зимнего периода по январю и февралю. Кинетику твердения шламщебеночного материала изучали на образцах-цилиндрах диаметром и высотой 10,1 см, изготовленных из диабазового и шлакового щебня, укреплённого шламом при дозировках от 5 до 45%. После испытания образцов отбирали пробы на влажность, а также для термографических и электронно-микроскопических исследований. Фрагменты результатов изучения кинетики твердения шлама и шламощебёночного материала представлены на рисунках1, 2.

Рисунок 1 – Изменение во времени предела прочности при сжатии образцов нефелинового шлама, твердевших в естественных условиях с декабря
Источник: составлено автором.

Figure 1 – Change in time of compressive strength of samples of nepheline sludge hardened in natural conditions since December
Source: compiled by the author.

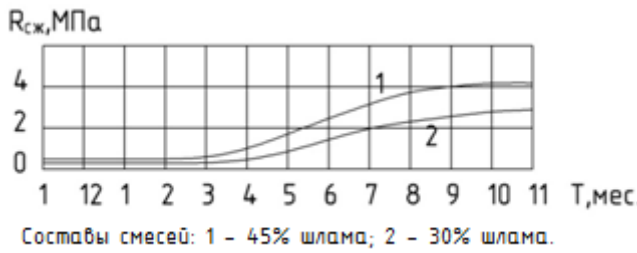


Рисунок 2 – Изменение во времени предела прочности при сжатии шламощебеночных образцов, твердевших в естественных условиях с декабря
Источник: составлено автором.

Figure 2 – The change in time of the compressive strength limit of slurry samples that have hardened under natural conditions since December
Source: compiled by the author.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

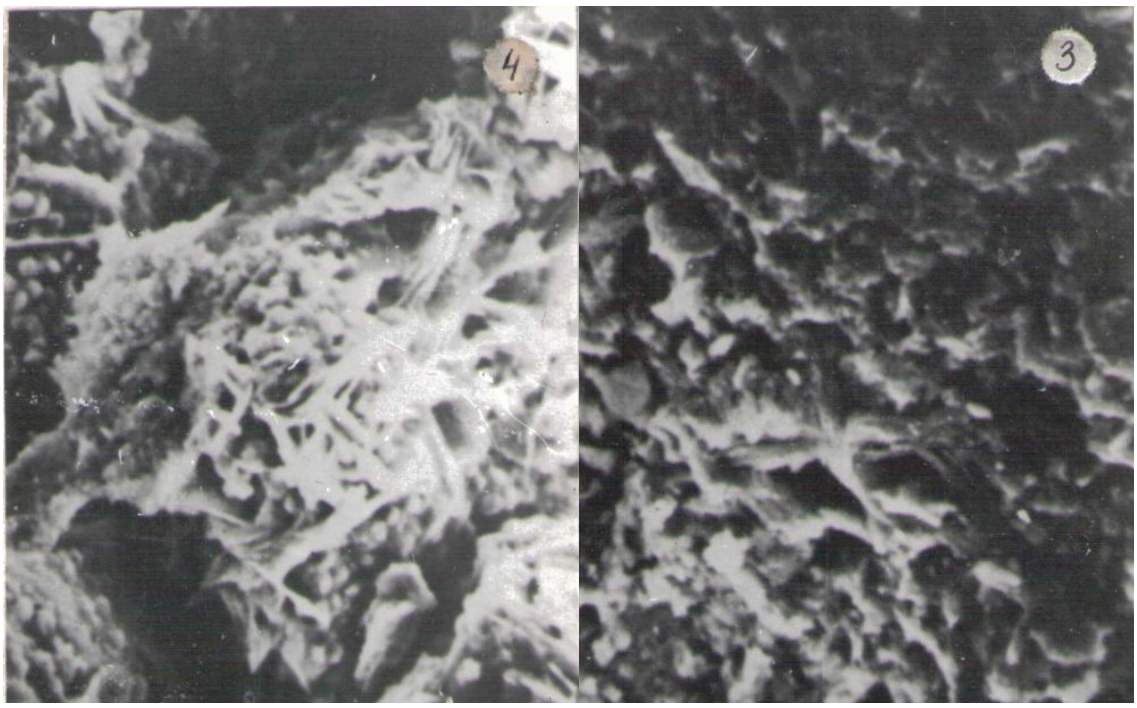


Рисунок 3 – Микрофотографии скола образцов нефелинового шлама, твердевших в естественных условиях в течение 18 месяцев (увеличение 500 и 1000)
Источник: составлено автором.

Figure 3 – Micrographs of nepheline sludge cleavage that hardened in vivo for 18 months (magnification 500 and 1000)
Source: compiled by the author.

Испытания образцов на сжатие и растяжение при изгибе показали, что в начальный период твердения в диапазоне отрицательных температур прочность материала остается постоянной. Однако результаты термографических и электронно-микроскопических исследований свидетельствуют, что в этот период процессы гидратации в шламе не прекращаются, а происходит накопление гелевидных новообразований. Морфология затвердевшей массы в образцах из нефелинового шлама характеризуется наличием игольчатых и тонкопластинчатых гидросиликатов типа тоберморита и других C–S-H (рисунок 3). Следует отметить, что при твердении в естественных условиях, а значит продолжительное время при отрицательных температурах, гелевидной фазы значительно больше, чем в образцах, твердевших в нормальных условиях. Кроме того, эти новообразования характеризуются более высокой удельной поверхностью и степенью переплетения [6]. О накоплении гелевидных новообразований свидетельствуют также результаты термографических исследований. Этот факт объясняет интенсивный набор прочности образцов с наступлением положительных температур (см. рисунки 1, 2). Через три месяца твердения при положительных температурах материал набирает прочность, соответствующую марке М40, что подтверждает правильность гипотезы о способности белитового шлама сохранять вяжущие свойства после морозного воздействия[5].

С наступлением второго зимнего периода прочность образцов начинает снижаться, но уже в феврале (с повышением температуры до минус 15 ºС) она вновь возрастает и через 2-3 месяца твердения при отрицательных температурах достигает своего первоначального максимума и превышает его (см. рисунок 1). Установлено, что на третий год падения прочности в зимний период нет и материал

[5] Лыткин А. А. Применение белитового шлама для устройства слоев дорожных одежд при отрицательных температурах: автореферат дис. канд. техн. наук : 05. 23. 11 / А. А. Лыткин. 1990. 18 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

твердеет даже при минус 20 ºС. Кроме того, результаты термографических исследований свидетельствуют о том, что гидравлическая активность шлама исчерпана не полностью.

Сравнение прочностных показателей образцов из смесей шлама с диабазовым и шлаковым щебнями свидетельствует о том, что прочность образцов из шламошлаковых смесей в 1,5–2,0 раза выше (см. рисунок 2). Это объясняется проявлением вяжущих свойств шлака, активированного шламом [7, 8].

В результате изучения способности шлама и шламощебеночного материала к восстановлению разрушенной структуры после повторного уплотнения и исследования влияния многократных подвижных нагрузок на характер твердения этих материалов при испытании на кольцевом испытательном стенде (полигоне) в условиях, максимально приближенных к натурным, установлено, что переформовка и подвижные нагрузки положительно влияют на характер твердения шлама и шламощебеночного материала [12, 13].

Материал после переформовки твердеет интенсивнее, и его прочность через шесть месяцев в 1,2 раза выше прочности контрольных образцов (6,4 МПа против 5,3 МПа). Установлено, что через год эксплуатации конструктивных слоев на полигоне общий модуль упругости на секциях, находящихся под движением электромобилей, увеличился в 1,13–1,64 раза по сравнению с контрольными секциями. Прочность кернов тоже выше на 33,8% у шлама и на 38,8% у шламощебеночного материала.

Следовательно, в период весеннего оттаивания нет необходимости прекращать движение транспорта по слоям, устроенным с применением белитового шлама в зимний период, достаточно ограничить его скорость до 30 км/ч с регулировкой движения по всей ширине слоя.

Исследования влияния отрицательных температур на технологические свойства шлама включали определение температуры его замерзания и изучение уплотняемости в интервале отрицательных температур.

Температуру начала замерзания шлама определяли термоэлектрическим методом с использованием теории планирования эксперимента. В эксперименте варьировались влажность от 15 до 26%, плотность скелета от 1,35 до 1,6 г/см³ и содержание водорастворимых щелочных соединений от 0,32 до 0,52%. На основании данных эксперимента установлена температура начала замерзания белитового шлама минус 2 ºС.

Уплотняемость изучали путем прессования образцов из шлама оптимальной влажности под стандартной нагрузкой 15 МПа в течение 3 мин при его температуре от 20 до минус 10 ºС. Уплотняемость характеризовалась коэффициентом уплотнения (Ку), который определяли как отношение плотности материала после уплотнения при заданной температуре к его стандартной плотности. Установлено, что с понижением температуры уплотняемость снижается, но даже при минус 6 ºС Ку составляет 0,98, что отвечает нормативным требованиям для дорожных оснований.

При температурах до минус 2 ºС включительно шлам уплотняется также, как при положительных, что с учетом установленной температуры начала его замерзания является основанием принять температуру минус 2 ºС за критическую.

Теплотехнические расчеты по теплопотерям шлама в процессе его транспортирования по железной дороге в полувагонах думкарного типа, в автосамосвалах, а также при длительном хранении в штабеле выполняли методом конечных элементов с использованием комплекса программ для расчета нестационарного нелинейного поля в трехмерной постановке.

Установлено, что шлам может быть использован для устройства оснований в зимнее время при условии нахождения его в думкарах не более:

- трех суток при средней (за время транспортирования) температуре воздуха (Тв) минус 10 ºС и начальной температуре шлама в момент окончания погрузки Тн = 5 ºС;
- 1,5 сут при средней Тв минус 20 ºС и Тн = 10 ºС;
- 1 сут при средней Тв минус 30 ºС и Тн = 15 ºС. Шлам, находящийся в думкарах более продолжительное время, будет иметь среднеобъемную температуру ниже критической (минус 2 ºС) и его целесообразно вывозить в притрассовый штабель и использовать в летний период.

Расчеты показали, что при транспортировании шлама в большегрузном автомобиле с кузовом, обогреваемым выхлопными газами, его температура понижается незначительно, а при низких (до 2 ºС) начальных температурах материала его среднеобъемная температура даже повышается на 0,1–1,2 ºС.

Анализ рассчитанных температурно-технологических параметров хранения шлама в штабеле показал, что при условии заготовки материала в летнее время и утеплении поверхности штабеля, например быстротверде-

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ющим пенопластом (БТП) толщиной 20–25 см, материал сохраняет удобоукладываемость в течение всего зимнего периода.

Для изучения закономерностей остывания шламовых слоев провели лабораторный эксперимент, моделирующий двухстороннее (сверху и снизу) промораживание материала. Шлам оптимальной влажности (25%) при заданных начальных температурах Тн – 0, 10, 20 ºС помещали в асбестовые колонки диаметром 14 см и высотой h – 7, 15, 25, 35 см, которые устанавливали на промороженное грунтовое основание и теплоизолировали по всей боковой поверхности. Колонки промораживали в климатической камере при температурах Тв – 10, 15 и 25 ºС.

Анализ результатов эксперимента показал, что наиболее интенсивно происходит охлаждение верхней части колонок. Поэтому за допустимый интервал времени (t) принято время, затраченное на охлаждение верхней части колонок от заданной начальной температуры до ее критического значения минус 2 ºС. По данным эксперимента, согласно методике, позволяющей аппроксимировать экспериментальные точки гиперболическими кривыми, получена эмпирическая зависимость

$$t=[(-6{,}19\times10^{-3}\times T_н^2+0{,}4673\times T_н+2{,}07)\times T_в^{-2}+5{,}25\times10^{-5}\times T_н^2+5{,}75\times10^{-4}\times T_н+0{,}008]\times h^{1{,}3}. \quad (2)$$

Для удобства определения значений t данную зависимость номограммировали (рисунок 4).

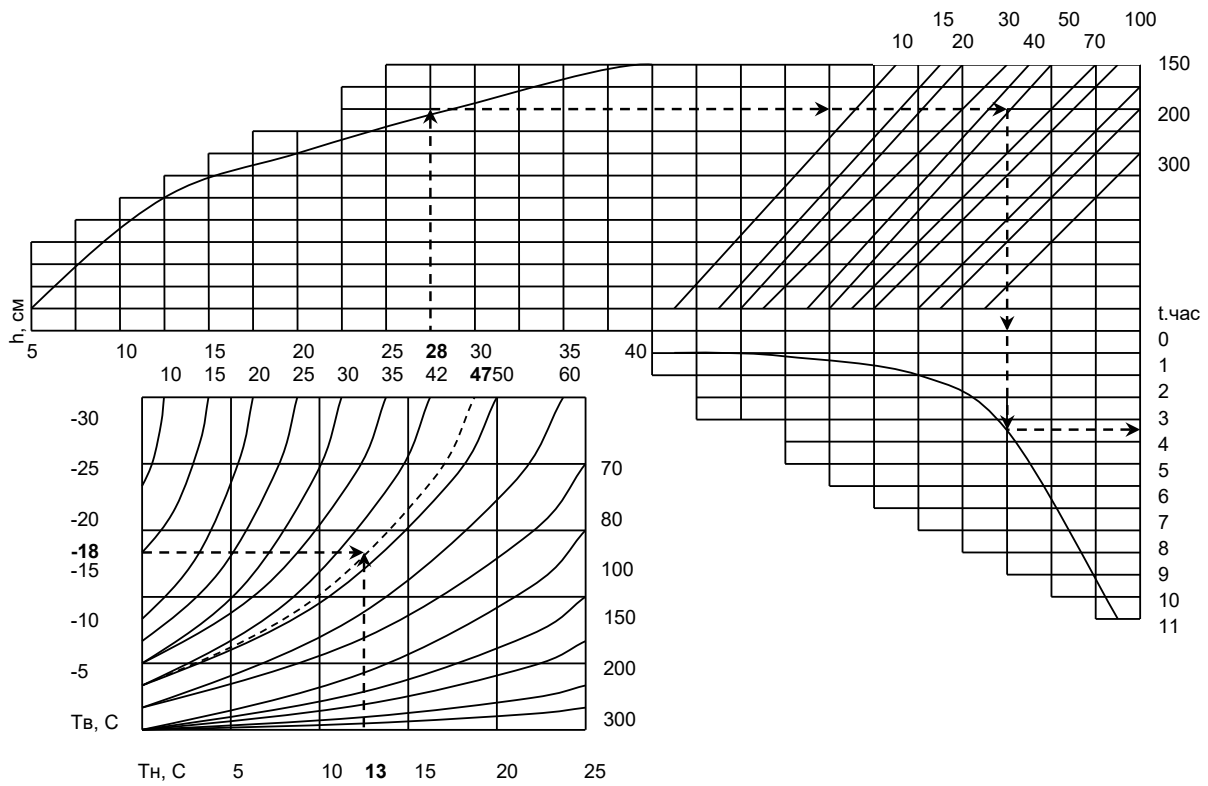


Рисунок 4 – Номограмма для определения допустимого интервала времени на проведение технологических операций по устройству слоя дорожной одежды из белитового шлама при отрицательных температурах воздуха
Источник: составлено автором.

Figure 4 – Nomogram for determining the permissible time interval for carrying out technological operations for the construction of a road pavement layer from belite sludge at sub-zero air temperatures.
Source: compiled by the author.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

На номограмме пунктирными линиями показан пример определения t при следующих исходных данных: начальная температура шлама Тн = 13 °С, температура воздуха Тв = 18 °С, толщина шламового слоя в рыхлом теле h = 28 см, d – безразмерный параметр, определяемый с использованием значений Тн и Тв. В данном примере интервал времени получился 3 ч 20 мин.

ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Опытно-экспериментальные работы выполняли с целью производственной проверки и уточнения результатов теоретичесих и экспериментальных исследований. Строительство опытных участков оснований и покрытий переходного типа из шлама и шламощебеночных материалов выполняли во II–IY дорожно-климатических зонах, на дорогах I–IY категорий при температурах воздуха до минус 26 ºС.

Результаты наблюдения за теплопотерями шлама в процессе его транспортирования в автосамосвалах подтвердили правильность теплотехнических расчетов. Например, при опытно-экспериментальном строительстве дороги «Подъезд к заводу костной муки» в Омской области шлам доставлялся автотранспортом в зимний период за 450 км и был в полном объеме использован для устройства основания при отрицательных температурах воздуха. Подогрев кузовов выхлопными газами не только существенно сдерживал остывание материала, но и предотвращал его примерзание к внутренней поверхности кузовов.

При строительстве в зимний период основания из нефелинового шлама под бетонное покрытие на дороге II категории Омск – Новосибирск шлам доставлялся по железной дороге за 750 км до станции Каргат в полувагонах думкарного типа и затем автосамосвалами за 20–25 км на дорогу. Шлам распределялся автогрейдером слоем толщиной 35 см (с запасом на уплотнение) и уплотнялся пневмокатком массой 25 т. За 14–16 проходов катка по одному следу удалось добиться требуемого коэффициента уплотнения 0,98–1,0. Все работы выполнялись при температурах воздуха минус 10–26 ºС. Всего с января по март было построено 5,7 км основания из шлама.

В целом следует отметить принципиальную сходимость результатов изучения теплопотерь шлама при его перевозке железнодорожным и автомобильным транспортом в производственных условиях с результатами теплотехнических расчетов. Например, у партии шлама, доставляемого в течение 2,5 сут железнодорожным транспортом в зимнее время, температура понизилась всего на 2,75 °С, ее среднее значение после выгрузки из думкаров составило 8,7 °С и весь материал (48 думкаров) был использован для устройства основания при отрицательных температурах.

По аналогичной схеме доставки шлама при отрицательных температурах было построено 4,6 км основания под бетонное покрытие на рулежных дорожках ВПП–2 Международного аэропорта Толмачево (г. Новосибирск).

В процессе опытного строительства и производственного внедрения выявлена высокая эффективность обработки щебеночного основания белитовым шламом методом пропитки-вдавливания с помощью кулачкового катка ДУ-26[6] [14]. Удалось добиться качественной обработки щебеночного слоя толщиной 18 см на всю толщину за 12–14 проходов катка по одному следу при коэффициенте уплотнения шламощебеночного материала 1,0–1,04. Причем высокое удельное давление катка позволяло выполнять работы при температурах шлама ниже его критического значения минус 3–7 ºС, что позволяло без ущерба качеству существенно удлинить технологическую захватку. Кроме того, по такому основанию, как показал производственный опыт, можно сразу открывать движение транспорта без ограничения его скорости. Этот эффект широко использовался при строительстве покрытий переходного типа на нефтепромысловых дорогах.

Результаты наблюдения за теплопотерями шлама в процессе опытного строительства и производственного внедрения подтвердили достоверность теоретических и экспериментальных исследований. Самые большие теплопотери зафиксированы в процессе уплотнения материала, так как после распределения по мерзлому основанию значительно увеличивается площадь его теплоотдачи. Поэтому крайне важным представляется определение допустимого интервала времени (t) на проведение данной операции и допустимой длины технологической захватки (L). Решаю-

[6] А. С. 960348, СССР. М.Кл.³ Е 01 С 3/00. Способ возведения дорожного и аэродромного основания / Бескровный В. М. [и др.] (СССР). № 2926211 / 29 – 33; Заявлено 13. 05. 80; Опубл. 23. 09. 82. Бюл. № 35. 1982. 118 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

щее значение при этом оказывают следующие факторы: температура шлама и воздуха, скорость ветра, толщина и ширина укладываемого слоя и производительность ведущей машины (катка).

Длина технологической захватки ориентировочно может быть определена для конкретных условий строительства в начале каждой смены по формуле

$$L=\frac{П}{h\times b}\times t, \quad (3)$$

где П – часовая производительность катка, м3/ч;

Н – толщина слоя в плотном теле, м;

В – ширина уплотняемого слоя, м;

t – допустимый интервал времени на выполнение технологических операций (ч), определяемый по номограмме (см. рисунок 4).

Значения расчетных интервалов времени (t), определенных по номограмме (см. рисунок 4) с данными натурных наблюдений, представлены в таблице 2.

Сравнение значений t, определенных по номограмме с данными натурных наблюдений, показало, что в производственных условиях времени на распределение и уплотнение слоя шлама получается на 5–10% больше, что вполне допустимо для практических целей и идет в запас надежности.

Правильность разработанных технических решений проверена путем строительства и обследования опытных участков, а также в ходе производственного внедрения при строительстве сотен километров дорог I–IV категорий, во II–IV дорожно-климатических зонах, в Красноярском крае, Омской, Новосибирской, Томской и Павлодарской областях [15,16].

Неоднократное детальное обследование показало, что конструктивные слои из шлама и шламощебеночного материала сформировались в прочный монолит, не уступающий по прочностным показателям аналогичным материалам на прилегающих участках, построенных в летний период. Установлено, что предел прочности на сжатие материалов, отобранных с опытных участков, составляет 7,5–14,5 МПа. При этом с годами отмечается тенденция к постоянному медленному набору прочности. Например, модуль упругости основания из белитового шлама, построенного в зимний период на автомобильной дороге «Подъезд к заводу костной муки», через 33 года эксплуатации увеличился в 2,9 раза [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании теоретических, физико-химических исследований и физико-механических испытаний выявлен комплекс специфических свойств нефелинового шлама, заключающихся в сохранении исходной плотности и активности после замораживания на стадии формирования коагуляционной структуры, и установлена способность шлама и шламощебеночных материалов к твердению при отрицательных температурах.

Таблица 2

Значения t, определенные по номограмме и результатам замера температур шлама в производственных условиях

Источник: составлено автором.

Table 2

Values of t determined from the nomogram and the results of measuring the temperatures of the sludge in production conditions

Source: compiled by the author.

№ опытного участка	Исходные параметры				Значение допустимого интервала времени t, ч	
	$T_в$, °C	$T_н$, °C	h, см	V, м/сек	по номограмме	по данным опытного строительства
1	-26	11	30	5–6	2,5	2,7
3	-12	4	18	4–6	1,5	1,6
4	-7	1	22	4–9	3,1	3,3

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

Исследованы температурно-технологические параметры заготовки шлама для производства работ в зимнее время. Изучены закономерности остывания шлама в технологическом процессе по устройству конструктивных слоев в зависимости от его начальной температуры, температуры воздуха и толщины слоя, что дало возможность обосновать допустимый интервал времени на выполнение технологических операций и с учетом производительности ведущей машины – катка определять длину технологической захватки. Разработан эффективный способ устройства шламощебеночных оснований (покрытий) с применением кулачкового катка, позволяющий добиваться требуемой плотности материала при отрицательных температурах воздуха. Исследованы температурно-технологические параметры заготовки шлама для производства работ в зимний период и даны рекомендации по защите притрассовых штабелей из шлама быстротвердеющим пенопластом, что обеспечивает сохранение материала в талом состоянии весь зимний период. Разработаны рекомендации по технологи устройства монолитных оснований (покрытий) на дорогах I–IY категорий из шлама и шламощебеночных материалов при отрицательных, до минус 20 ºС температурах воздуха[7,8,9]. Правильность разработанных технических решений проверена путем строительства и обследования опытных участков, а также в ходе производственного внедрения при массовом строительстве дорог во II–IY дорожно-климатических зонах. По прочностным показателям слои дорожных и аэродромных одежд, устроенные в зимний период, удовлетворяют требованиям действующих нормативных документов.

Широкое применение белитового шлама позволяет значительно продлить дорожно-строительный сезон, сократить дефицит каменных материалов и традиционных вяжущих, снизить материалоемкость дорожных и аэродромных одежд, повысить их несущую способность и долговечность, а также улучшить экологическую обстановку.

Направление дальнейших исследований:

- разработка технологии холодного ресайклинга асфальтобетонных покрытий с заменой традиционных вяжущих на белитовый шлам, в том числе в зимний период;
- разработка технологии строительства оснований из грунтов, укрепленных шламом, в том числе в зимний период.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безрук В. М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве. М.: Транспорт, 1971. 247 с.

2. Fohs D., Kinter E. Soil-Portland cement twickness design-summary of current practices. Public Roads. 1970. Vol. 36. No. 4. pp. 75-82.

3. Миронов С. А. Теория и методы зимнего бетонирования. М.: Стройиздат, 1975. 700 с.

4. Хигерович М. И., Муштаева Н. Е., Карасев М.С. Устройство бетонного покрытия способом раннего замораживания // Автомобильные дороги. 1969. № 9. С. 4–5.

5. Крылов Б. А., Иванова О. С., Сергеев К. И. [и др.] Свойства бетона, замороженного в раннем возрасте // Автомобильные дороги. 1972. № 11. С. 14–16.

6. Миронов С. А., Глазырина Е. Г. Влияние раннего замораживания на прочностные и деформативные характеристики бетона. Зимнее бетонирование и тепловая обработка бетона. М.: Стройиздат, 1975. 125 с.

7. Пополов А. С. Опыт применения гранулированных шлаков в дорожном строительстве Франции // Экспресс-информация. Автомобильные дороги. Зарубежный опыт. ЦНТИ Минавтодора РСФСР. Вып. 10. М., 1984. С. 1–13.

8. Белоусов Б. В., Бескровный В. М., Лыткин А. А. Применение белитовых шламов для устройства дорожных оснований в условиях Сибири. Производство и применение каменных материалов из горных пород и отходов промышленности в дорожном строительстве. Тр. Союздорнии. М., 1984. С. 43–48.

9. Логинова И. В., Кырчиков А. В. Аппаратно-технологические схемы в производстве глинозема. Екатеринбург: Урфу, 2011. 233 с.

10. Белоусов Б. В, Гаврилов А. Н., Афонин А. С. Предложения по конструированию дорожных одежд с повышенным сроком службы. Мир дорог. М., 2016. 2 с.

[7] Методические рекомендации по укреплению грунтов и других материалов медленнотвердеющими вяжущими при пониженных положительных и отрицательных температурах. Минтрансстрой СССР. М.: Союздорнии, 1985. 33 с.

[8] ВСН 84 – 89 Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты. М.: Минтрансстрой, 1990. 271 с.

[9] ОДМ 218.3.043–2015. Методические рекомендации по применению в слоях дорожных одежд натуральных белитовых шламов. Росавтодор Министерства транспорта Российской Федерации. Информавтодор. Издан на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 30.11.2015. № 2283. Р. с., М. 66 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

11. Кириенко И. А. Теоретическое обоснование твердения цементных растворов и бетонов на морозе. Киев, 1962. 30 с.

12. Влияние повторного уплотнения и транспортных нагрузок на характер твердения белитового шлама в слоях дорожных одежд // Вестник СибАДИ. 2017; 3: 125–132. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-3(55)-125-132

13. Lytkin A. A. Study of the Transport Loads Influence on the Nature of Belite Sludge Hardening in Pavement. Materials Science Forum 992. 2020. pp. 79- 85. DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.992.79.

14. Бескровный В. М., Белоусов Б. В., Лыткин А. А. Обработка щебеночных оснований вяжущими с помощью кулачкового катка. Производство и применение каменных материалов из горных пород и отходов промышленности в дорожном строительстве. Тр. Союздорнии. М., 1984. С. 93–102.

15. Лыткин А. А., Старков Г. Б., Вагнер Е. Я. Исследование эффективности использования белитового шлама для устройства монолитных слоев дорожных одежд методом холодного ресайклинга // Вестник СибАДИ. 2020; 17 (6): https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-764-776

16. Левин Б. В., Лисюк Б. С., Луценко К. Л., Лыткин А. А. [и др.] Нефелиновые концентраты и шламы – уникальное сырье для геополимерных материалов и конструкций. Мир дорог. «Экология. Новые технологии». М., 2020. 9 с.

REFERENCES

1. Bezruk V.M. *Ukreplenie gruntov v dorozhnom i ajerodromnom stroitel'stve* [Soil reinforcement in road and airfield construction]. Moscow: Transport, 1971. 247 p. (in Russ.)

2. Fohs D., Kinter E. Soil-Portland cement twickness design-summary of current practices. Public Roads. 1970. Vol. 36. no 4. pp. 75-82.

3. Mironov S.A. *Teorija i metody zimnego betonirovanija* [Theory and methods of winter concreting] Moscow: Strojizdat, 1975. 700 p. (in Russ.)

4. Higerovich M. I., Mushtaeva N. E., Karasev M. S. Ustrojstvo betonnogo pokrytija sposobom rannego zamorazhivanija [Making of a concrete coating by the method of early freezing] *Avtomobil'nye dorogi*. 1969; 9: 4-5. (in Russ.)

5. Krylov B. A., Ivanova O. S., Sergeev K. I. i dr. Svojstva betona zamorozhennogo v rannem vozraste [Properties of concrete frozen at an early age]. *Avtomobil'nye dorogi*. 1972; 1: 14-16. (in Russ.)

6. Mironov S. A., Glazyrina E. G. *Vlijanie rannego zamorazhivanija na prochnostnye i deformativnye harakteristiki betona. Zimnee betonirovanie i teplovaja obrabotka betona* [The effect of early freezing on the strength and deformation characteristics of concrete. Winter concreting and heat treatment of concrete] Moscow: *Strojizdat*, 1975. 125 p. (in Russ.)

7. Popolov A. S. Opyt primenenija granulirovannyh shlakov v dorozhnom stroitel'stve Francii [Experience in the use of granular slag in road construction in France] *Jekspress - informacija. Avtomobil'nye dorogi. Zarubezhnyj opyt.* Moscow: CBNTI Minavtodor RSFSR, no 10, 1984. pp. 1-13. (in Russ.)

8. Belousov B. V., Beskrovnyj V. M., Lytkin A. A. *Primenenie belitovyh shlamov dlja ustrojstva dorozhnyh osnovanij v uslovijah Sibiri. Proizvodstvo i primenenie kamennyh materialov iz gornyh porod i othodov promyshlennosti v dorozhnom stroitel'stve* [The use of belite sludge for the construction of road foundations in Siberia. Production and application of stone materials from rocks and industrial waste in road construction] Moscow: *Sojuzdornii*, 1984. pp. 43-48. (in Russ.)

9. Loginova I. V., Kyrchikov A. V. *Apparatno – tehnologicheskie shemy v proizvodstve glinozema* [Hardware and technological schemes in the production of alumina] Ekaterinburg: Urfu, 2011, 203 p. (in Russ.)

10. Belousov B. V, Gavrilov A. N, Afonin A. S. Predlozhenija po konstruirovaniju dorozhnyh odezhd s povyshennym srokom sluzhby [Proposals for the design of road clothes with an extended service life]. *Mir dorog* 2016. 2 p. (in Russ.)

11. Kirienko I. A. *Teoreticheskoe obosnovanie tverdenija cementnyh rastvorov i betonov na moroze* [Theoretical justification of hardening of cement mortars and concrete in the cold] Kyiv, 1962. 30 p. (in Russ.)

12. Lytkin A.A. Influence of repeated compaction and transport loads on the character of hardening of belitic sludge in layers of road clothes. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2017;(3(55)):125-132. (In Russ.) https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-3(55)-125-132

13. Lytkin A. A. Study of the Transport Loads Influence on the Nature of Belite Sludge Hardening in Pavement. Materials Science Forum 992. 2020. pp. 79- 85. DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.992.79.

14. Beskrovnyj V. M., Belousov B. V., Lytkin A. A. *Obrabotka shhebenochnyh osnovanij vjazhushhimi s pomoshh'ju kulachkovogo katka. Proizvodstvo i primenenie kamennyh materialov iz gornyh porod i othodov promyshlennosti v dorozhnom stroitel'stve* [Processing of crushed stone bases with binders using a cam roller. Production and application of stone materials from rocks and industrial waste in road construction] Moscow: *Sojuzdornii*, 1984. pp. 93-102. (in Russ.)

15. Lytkin A. A., Starkov G. B., Vagner E. Ja. *Issledovanie jeffektivnosti ispol'zovanija belitovogo shlama dlja ustrojstva monolitnyh sloev dorozhnyh odezhd metodom holodnogo resajklinga* [Investigation of the effectiveness of the use of belite sludge for the making monolithic layers of road clothes by cold recycling]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2020. no 17(6). https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-764-776

16. Levin B. V., Lisjuk B. S., Lucenko K. L., Lytkin A.A. i dr. *Nefelinovye koncentraty i shlamy – unikal'noe syr'e dlja geopolimernyh materialov i konstrukcij* [Nepheline concentrates and sludges are unique raw materials for geopolymer materials and structures]. *Mir dorog*. 2020: 9. (in Russ.)

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Лыткин Александр Александрович – канд. техн. наук, старший научный сотрудник, доц. кафедры «Строительство и эксплуатация дорог».

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Aleksandr A. Lytkin – Cand. of Sci., Senior Researcher, Associate Professor of the Road Construction and Maintenance Department.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

УДК 691.328
DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-436-445
EDN: OZZCHD
Научная статья

Check for updates

ВЛИЯНИЕ ВИДА ФИБРЫ И СОСТАВА МАТРИЦЫ НА ИХ СЦЕПЛЕНИЕ В ФИБРОБЕТОНЕ

Ю. В. Пухаренко[1,2], Д. А. Пантелеев[2]*, М. И. Жаворонков[2]
[1]Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия
[2]Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ), г. Санкт-Петербург, Россия
tsik54@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1989-0595
dm-pant@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-6590-5033
sith07@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4056-5965
**ответственный автор*

АННОТАЦИЯ

Введение. *Целью статьи является определение влияния профиля стальной фибры и состава матрицы на их сцепление в дисперсно-армированном бетоне.*
Материалы и методы. *Проведены исследования с применением методов испытаний, изложенных в национальных стандартах. Для определения характеристики прочности сцепления волокон с матрицей использовалась оригинальная методика, разработанная в СПбГАСУ.*
Результаты. *Определена степень влияния геометрической формы стальных фибр – анкерной и волнового профиля на характеристику прочности сцепления. Произведена оценка прочности сцепления стальной фибры с цементной и бетонной матрицей (Ц/П = 1:1, Ц/П = 1:2 и Ц/П = 1:3). Экспериментально доказано влияние объемной доли цементного теста на характеристику прочности сцепления стальной фибры с матрицей.*
Заключение. *Полученные экспериментальные данные подтверждают эффективность дисперсного армирования путем применения анкерной фибры в сочетании с рационально подобранным составом бетонной матрицы.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *композит, дисперсное армирование, фибробетон, фибра, матрица, состав, сцепление, прочность.*

БЛАГОДАРНОСТИ: *статья публикуется по результатам проведения научно-исследовательских работ, проводимых по Плану фундаментальных исследований РААСН и Минстроя России, и в рамках конкурса грантов на выполнение научно-исследовательских работ научно-педагогическими работниками СПбГАСУ (ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет») в 2022 году.*

Статья поступила в редакцию 22.04.2022; одобрена после рецензирования 03.06.2022; принята к публикации 10.06.2022.
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: Пухаренко Ю. В., Пантелеев Д. А., Жаворонков М. И. Влияние вида фибры и состава матрицы на их сцепление в фибробетоне // *Вестник СибАДИ.* 2022. Т.19, № 3 (85). С. 436-445. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-436-445

© Пухаренко Ю. В., Пантелеев Д. А., Жаворонков М. И., 2022

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-436-445
EDN: OZZCHD
Original article

INFLUENCE OF FIBER TYPE AND MATRIX COMPOSITION ON ADHESIVE STRENGTH IN FIBER REINFORCED CONCRETE

Yury V. Pukharenko[1], Dmitrii A. Panteleev[2]*, Mikhail I. Zhavoronkov[2]
[1]Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN), Moscow, Russia
[2]Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU), St. Petersburg, Russia
tsik54@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-1989-0595
dm-pant@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-6590-5033
sith07@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4056-5965
**corresponding author*

ABSTRACT

Introduction. *The purpose of the article is to determine the influence of the steel fiber profile and the composition of the matrix on their adhesion in dispersed reinforced concrete.*
Materials and methods. *Studies have been carried out using the test methods set out in national standards. To determine the characteristics of the adhesion strength of fibers with a matrix, an original technique developed at SPbGASU was used.*
Results. *The degree of influence of the geometric shape of steel fibers – anchor and wave profile on the adhesion strength characteristic is determined. The adhesion strength of steel fiber with cement and concrete matrix was assessed (Cement: Sand = 1:1, Cement: Sand = 1:2 and Cement: Sand = 1:3). The influence of the volume fraction of the cement paste on the characteristic of the adhesion strength of the steel fiber with the matrix has been experimentally proven.*
Conclusions. *The experimental data obtained confirm the effectiveness of dispersed reinforcement through the use of anchor fibers in combination with a rationally selected composition of the concrete matrix.*

KEYWORDS: *composite, fiber reinforcement, fiber reinforced concrete, fiber, matrix, composition, adhesion, bending strength.*

ACKNOWLEDGMENTS. *The article is published based on the results of the research work carried out according to the Plan for Fundamental Research of the RAASN and the Ministry of Construction of Russia, and within the framework of the competition for grants for the performance of research work by scientific and academic staff of SPbGASU (Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering) in 2022.*

The article was submitted 22.04.2022; approved after reviewing 03.06.2022; accepted for publication 10.06.2022.
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: Yury V. Pukharenko, Dmitrii A. Panteleev, Mikhail I. Zhavoronkov Influence of fiber type and matrix composition on adhesive strength in fiber reinforced concrete. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (3): 436-445. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-436-445

© Pukharenko Y. V., Panteleev D. A., Zhavoronkov M. I., 2022

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

ВВЕДЕНИЕ

Фибробетон как композиционный материал действует за счёт совместной работы армирующих волокон и бетона. Наиболее эффективная совместная работа достигается только при высоком уровне сцепления всех материалов. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что именно прочность сцепления фибры с матрицей композита определяет характер разрушение материала и является основной возможностью повышения его прочности [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Сцеплением называется способность фибры воспринимать напряжения при воздействии внешних нагрузок. По принципу действия сцепление можно разделить на адгезионное и механическое.

Адгезионное сцепление – это сцепление, которое образуется при межмолекулярном взаимодействии в поверхностном слое между волокном и матрицей композита (зависит от материала, из которого изготовлена фибра).

Механическое сцепление – это сцепление, которое обусловлено непрямолинейной геометрической формой фибры (различные изгибы, выпуски, трение). Именно механическое сцепление в значительно большей степени определяет эффективность работы дисперсного армирования.

Таким образом, сцепление фибры с матрицей композита является результатом комбинированного проявления адгезии, трения и механического зацепления в зоне их контакта с цементным камнем. Каждый из этих факторов может по-разному влиять на анкеровку волокон в матрице, что во многом зависит от состава, структуры и свойств цементного камня, а также от материала волокна, его формы и размеров [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

Хорошо известно, что напряжение распределяется по длине волокна равномерно, от концов к середине [16]. При этом существует такая критическая длина волокна (l_C), при увеличении которой ($l_f > l_C$) в нем возникают напряжения, превышающие его прочность и приводящие к разрыву, а при уменьшении ($l_f < l_C$) напряжения в волокне не достигают его прочности и оно вытягивается из матрицы при разрушении композита. В случае использования для армирования композита волокон гладкого профиля напряжения распределяются в соответствии с рисунком 1, а).

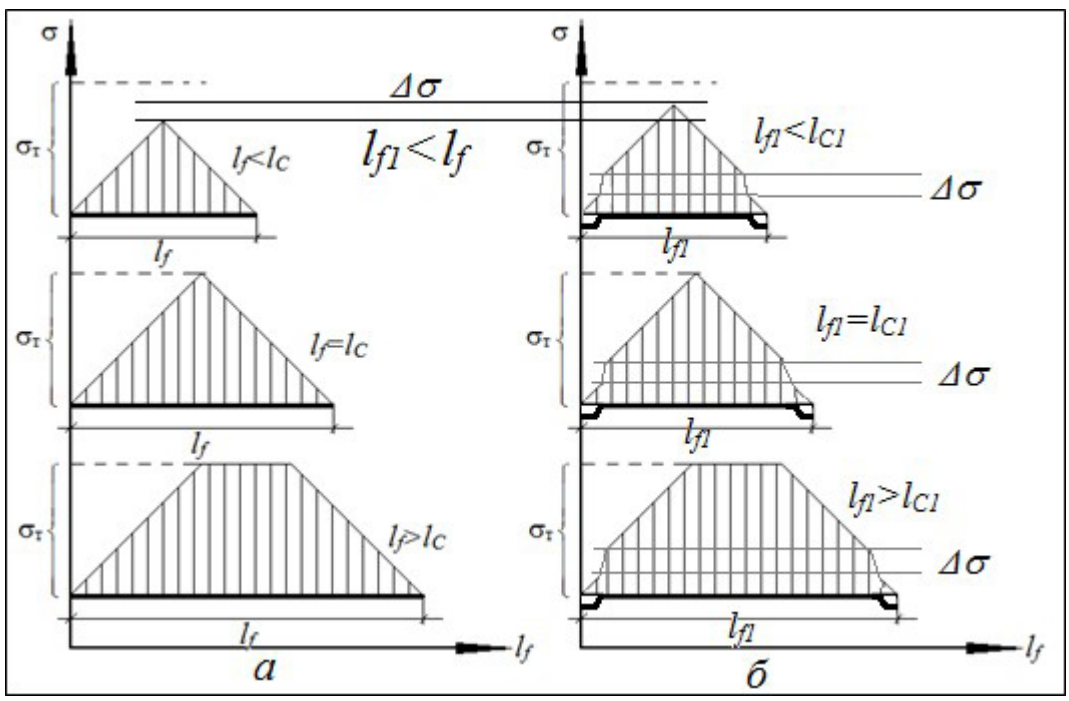


Рисунок 1 – Распределения напряжений по длине волокон разного типоразмера: а – гладкая; б – анкерная
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Stress distributions along the length of fibers of different sizes: a) smooth; b) anchor
Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

В случае использования волокон малой длины ($l_f < l_C$) предел их прочности оказывается неисчерпанным, и потенциал таких волокон, как упрочнителя композита оказывается недоиспользованным. При этом технологически предпочтительно применять волокна как можно меньшей длины. Таким образом, представляется необходимым принимать меры по повышению прочности сцепления волокон с матрицей при одновременном сокращении их длины. Перспективным решением этой задачи является производство армирующих волокон анкерного профиля, например отрезка стальной проволоки с двумя двойными отгибами на концах. Теоретически такая форма фибры резко повышает прочность механического сцепления с матрицей, как показано на рисунке 1, б. Если напряжения распределяются вдоль гладких волокон равномерно, то в случае волокон с отгибами распределение напряжений происходит по более сложному закону. Благодаря этому фибра может воспринимать большие усилия, и ее длина может быть уменьшена.

Для количественной оценки данного эффекта проведены экспериментальные исследования, целью которых являлось определение влияния профиля стальной фибры и состава матрицы на их сцепление в дисперсно-армированном бетоне.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В ходе исследований применялись следующие сырьевые материалы:

- Портландцемент ЦЕМ I 42,5Н производства *Heidelberg cement* (АО «Сланцевский цементный завод «Цесла»), нормальная густота цементного теста = 30%.
- Кварцевый песок с модулем крупности $М_к$ = 2,3, насыпная плотность $ρ_{нас}$ = 1450 кг/м^3; водопотребность = 8%.
- Фибра стальная гладкого профиля (рисунок 2), длина *l* = 30 мм, диаметр *d* = 0,3 мм.
- Фибра стальная анкерная (см. рисунок 2), длина *l* = 30 мм, диаметр *d* = 0,3 мм.
- Фибра стальная волнового профиля (см. рисунок 2), длина *l* = 30 мм, диаметр *d* = 0,3 мм.

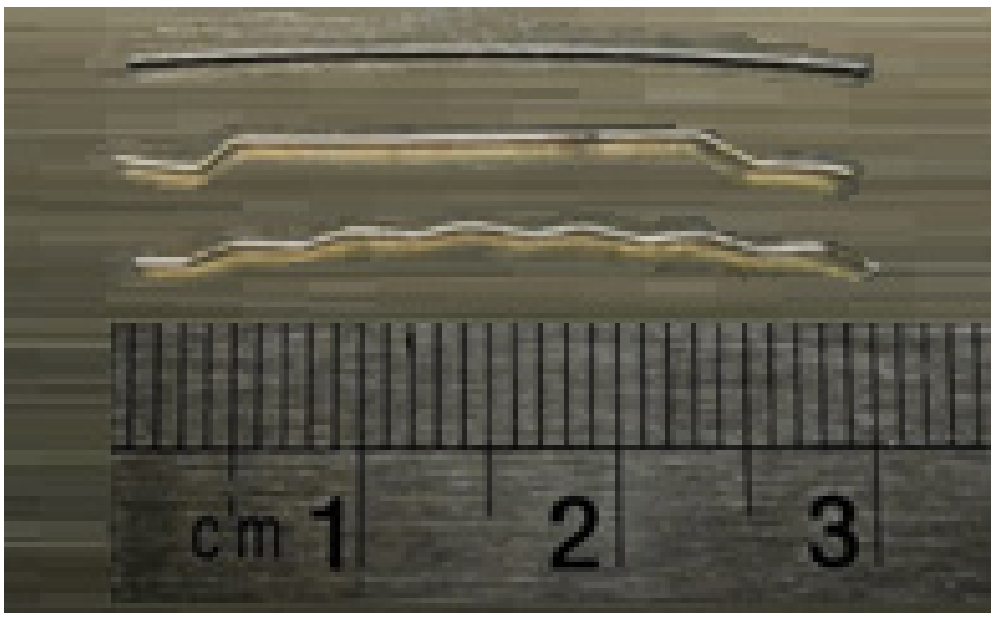


Рисунок 2 – Стальная фибра с разным геометрическим профилем
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Steel fiber with different geometric profile
Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Таблица 1
Результаты предела прочности на растяжение при изгибе в зависимости от вида и объемного содержания стальной фибры
Источник: составлено авторами.

Table 1
Results of bending strength depending on the type and volume content of steel fibers
Source: compiled by the authors.

Объемное содержание стальной фибры, μ, %	Средняя прочность на растяжение при изгибе ($R_{изг}$, МПа) фибробетона с использованием		
	стальной фибры гладкого профиля	стальной фибры волнового профиля	стальной анкерной фибры
0	6,1	5,5	5,6
0,1	6,0	6,0	5,9
0,2	6,4	6,1	8,2
0,3	6,2	7,5	8,0
0,4	6,0	8,1	10,2
0,5	7,7	9,3	14,7
0,6	8,0	9,9	17,5
0,7	8,1	10,6	17,0
0,8	8,4	12,0	24,6
0,9	9,8	12,5	23,7
1,0	10,1	13,8	26,8

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для определения степени влияния геометрической формы стальных фибр – анкерной и волнового профиля – на характеристику прочности сцепления из цементного теста нормальной густоты были изготовлены 3 серии образцов-балок 4х4х16 см, армированных стальными волокнами одинаковой длины и диаметром, но разным геометрическим профилем. Предел армирования составлял 1,0% по объему, шаг армирования – 0,1%.

По истечении 28 сут изготовленные образцы-балки подвергались испытанию по определению прочности на растяжение при изгибе в соответствии с ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам», полученные результаты представлены в таблице 1.

По ранее разработанному на кафедре ТСМиМ СПбГАСУ расчетно-экспериментальному методу [17] была определена характеристика прочности сцепления ($\varphi\tau$). Суть метода заключается в нахождении опытным путем такого минимального процента армирования цементного камня, до которого вводимые волокна практически не проявляют армирующего эффекта, но после которого наблюдается устойчивый рост прочности композита. При этом для исключения возможности неверного определения μ_{min} характеристика прочности сцепления фибр с матрицей определялась как среднее арифметическое нескольких результатов использования формулы (1).

$$(\varphi\tau) = \frac{R_{фц} - 3{,}5 \cdot R_{кз} \cdot \mu_{\min} - R_{цк}(1 - 4{,}5 \cdot \mu_{\min})}{2 \cdot \frac{l_ф}{d_ф} \cdot \mu_{\min}}, \quad (1)$$

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

где (φ) – комплексный коэффициент, не требующий расшифровки при выполнении расчетов по уравнению прочности фиброцемента; μ_{min} – объемная доля фибры, соответствующая такому процентному содержанию, после которого наблюдается устойчивое повышение прочности; $R_{фц}$ – прочность фиброцемента, соответствующая μ_{min}; $R_{цк}$ – прочность цементного камня; $R_{кз}$ – прочность контактной зоны ($R_{кз} = 1{,}4R_{цк}$); $l_ф$ – длина фибры; $d_ф$ – диаметр фибры.

Результаты определения характеристики прочности сцепления ($\varphi\tau$) в зависимости от профиля применяемой стальной фибры представлены в таблице 2.

Влияние механического сцепления стальной фибры за счет ее непрямолинейной геометрической формы составило: для волнового профиля $(\varphi\tau_{мех})_{волн}$ = 2,04 МПа, для анкерного профиля $(\varphi\tau_{мех})_{анк}$ = 8,27 МПа.

Для определения влияния состава матрицы композита на характеристику прочности сцепления были изготовлены 4 разных состава (таблица 3), имеющие разную матрицу: цементный камень, мелкозернистый бетон с соотношением цемента и кварцевого песка 1:1, 1:2, 1:3.

Расход воды подбирался с учетом нормальной густоты портландцемента и водопотребности песка. Все образцы армировались стальной анкерной фиброй, показавшей наибольшую эффективность, с максимальным содержанием волокон 1,0% по объему и шагом армирования 0,1 %.

Полученные в ходе исследования результаты прочности на растяжение при изгибе представлены в таблице 4.

Как видно из полученных результатов, в независимости от матрицы композита повышение расхода стальной анкерной фибры приводит к увеличению прочности на растяжение при изгибе. Однако динамика набора прочности армированных образцов, в зависимости от состава матрицы, разная, что связано с распределением волокон в матрице композита и объемным содержанием цементного теста. Так, например, у образцов из цементного теста нормальной густоты при объемном содержании стальной фибры до 0,45% прочность на растяжение при изгибе меньше, чем у образцов из цементно-песчаного раствора с соотношением цемента к кварцевому песку 1:3. Однако прочность на растяжение при изгибе образцов, изготовленных из цементного теста, в сравнении с образцами из цементно-песчаного раствора, становится больше при расходе волокон, превышающих 0,45 об. % (рисунок 3).

Таблица 2

Результаты характеристики прочности сцепления в зависимости от вида стальной фибры

Источник: составлено авторами.

Table 2

Results of adhesive strength characteristics depending on the type of steel fiber

Source: compiled by the authors.

Характеристика прочности сцепления фибры в цементном камне, ($\varphi\tau$), МПа		
стальная фибра, гладкая	стальная фибра, волнового профиля	стальная фибра, анкерная
1,67	3,71	9,94

Таблица 3

Составы матриц

Источник: составлено авторами.

Table 3

Matrix compositions

Source: compiled by the authors.

№ состава	Цементно-песчаное отношение	Водоцементное отношение	Расход материалов, кг/м^3		
			портландцемент	кварцевый песок	вода
1	1:0	0,3	1640	–	492
2	1:1	0,38	935	935	355
3	1:2	0,46	645	1290	297
4	1:3	0,54	495	1485	267

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

Таблица 4
Результаты предела прочности на растяжение при изгибе в зависимости от матрицы композита и объемного содержания стальной фибры
Источник: составлено авторами.

Table 4
Results of bending strength depending on the matrix of the composite and the volume content of steel fibers
Source: compiled by the authors.

Объемное содержание стальной анкерной фибры, μ, %	Матрица фибробетона			
	ЦК	Ц:П = 1:1	Ц:П = 1:2	Ц:П = 1:3
0	5,6	7,8	8,3	6,7
0,1	5,9	9,0	7,7	7,2
0,2	8,2	8,4	9,5	9,0
0,3	8,0	12,1	10,0	10,0
0,4	10,2	15,6	14,2	12,6
0,5	14,7	16,8	16,6	12,6
0,6	17,5	19,1	17,4	13,8
0,7	17,0	21,5	18,3	16,1
0,8	24,6	23,6	19,0	18,9
0,9	23,7	24,5	19,7	16,8
1,0	26,8	25,0	20,7	17,9

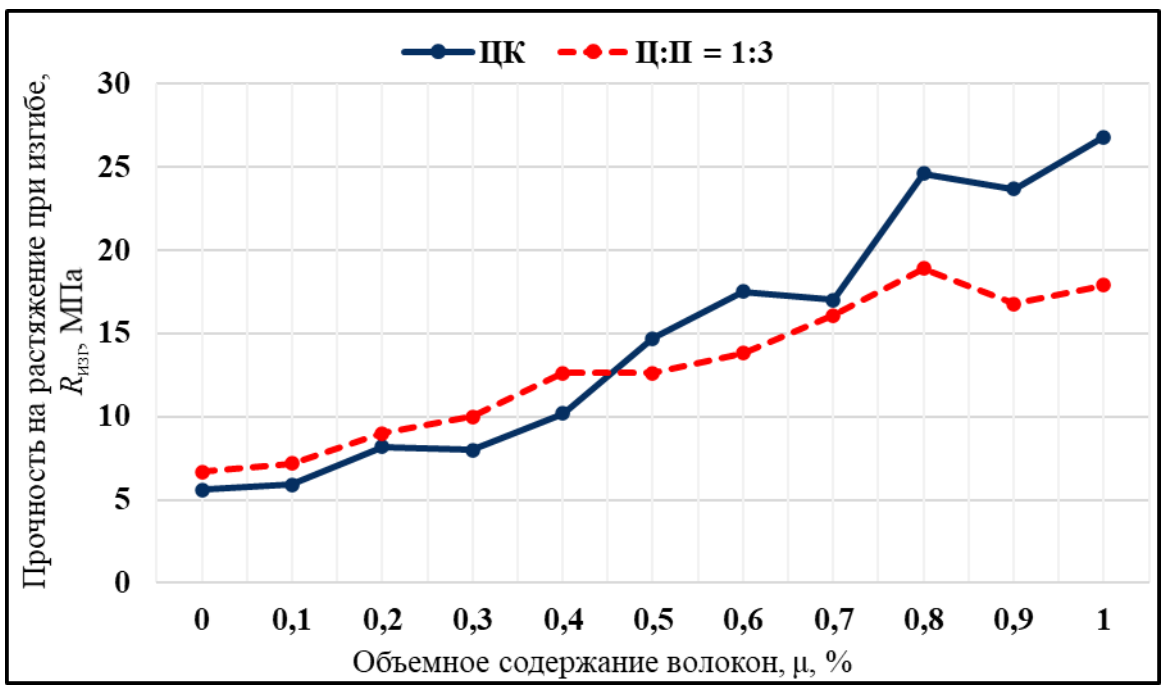


Рисунок 3 – График зависимости прочности на растяжение при изгибе от объемного содержания фибры (ЦК и Ц:П = 1:3)
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Graph of bending strength depending on fiber volume content (Cement Stone and Cement: Sand = 1:3)
Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

Результаты определения характеристики прочности сцепления стальной анкерной фибры $(\varphi\tau)_{анк}$ в зависимости от матрицы композита представлены в таблице 5.

Полученные результаты можно представить в виде графической зависимости характеристики прочности сцепления стальной анкерной фибры от доли цементного теста в общем объеме компонентов (рисунок 4).

Определяющим фактором, влияющим на характеристику прочности сцепления волокна, является объемная доля цементного теста в составе матрицы. Увеличение содержания цементного теста приводит к закономерному увеличению сцепления стальной фибры (см. рисунок 3), что объясняется формированием более развитой контактной зоны и лучшим взаимодействием на границе раздела «фибра-матрица».

Данный график подтверждает зависимость величины прочности сцепления стального волокна от объемного содержания цементного теста. На основе полученных результатов получена эмпирическая зависимость для определения характеристики прочности сцепления стальной анкерной фибры с бетонной матрицей различного состава (2).

$$(\varphi\tau)_{анк} = -20{,}609 \cdot ЦТ^2 + 35{,}108 \cdot ЦТ - 5{,}5424, \quad (2)$$

где ЦТ – доля цементного теста в общем объёме.

Таблица 5

Результаты характеристики прочности сцепления в зависимости от матрицы композита

Источник: составлено авторами.

Table 5

The results of the adhesive strength depending on the matrix of the composite

Source: compiled by the authors.

	ЦК	Ц:П = 1:1	Ц:П = 1:2	Ц:П = 1:3
Характеристика прочности сцепления, $(\varphi\tau)_{анк}$, МПа	9,94	9,37	7,07	6,21
Объем цементного теста, $V_{цт}$, л	1000	651	500	423
Объем песка, $V_{п}$, л	0	349	500	577

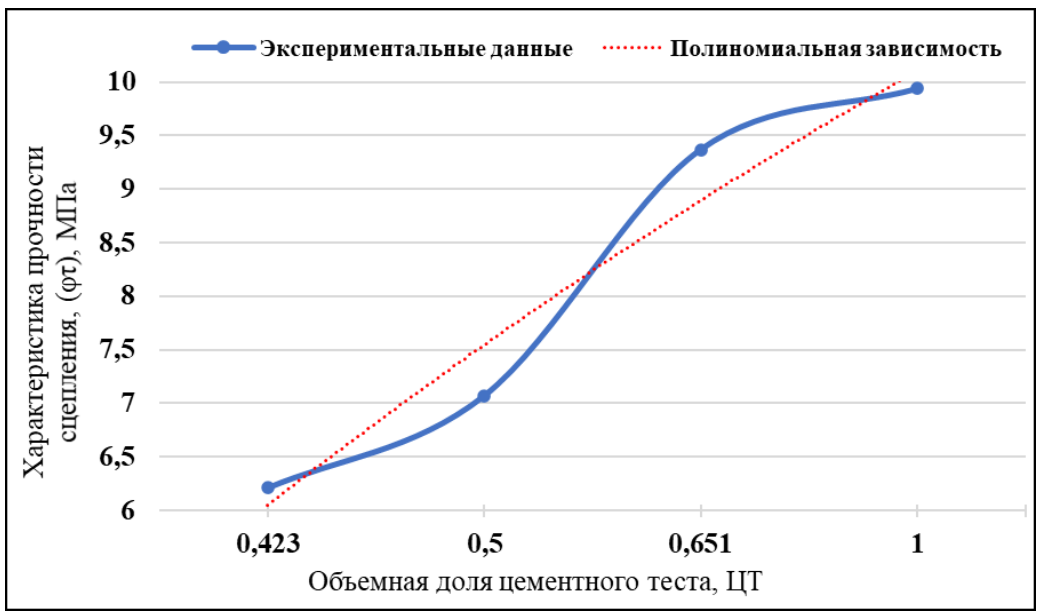


Рисунок 4 – Зависимость характеристики прочности сцепления стальной анкерной фибры от доли цементного теста в общем объеме компонентов

Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Dependence of the adhesive strength characteristics of steel anchor fibers on the proportion of cement paste in the total volume of components

Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований определено влияние геометрической формы стальной фибры на величину сцепления с бетонной матрицей, которое для фибры волнового профиля составило $(\varphi\tau_{мех})_{волн}$ = 2,04 МПа, а для анкерной фибры – $(\varphi\tau_{мех})_{анк}$ = 8,27 МПа. Кроме этого, доказана связь между величиной сцепления и объемной долей цементного теста.

Таким образом, полученные экспериментальные данные подтверждают теоретические положения о повышении эффективности дисперсного армирования путем применения анкерной фибры в сочетании с рационально подобранным составом бетонной матрицы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пухаренко Ю. В. Определение прочности сцепления армирующих волокон с матрицей в фибробетоне / Ю. В. Пухаренко, В. И. Морозов, Д. А. Пантелеев, М. И. Жаворонков // Строительные материалы. 2020. № 3. С. 39–43.

2. Пухаренко Ю. В. Совершенствование метода определения величины сцепления армирующих волокон с матрицей в фибробетоне / Ю. В. Пухаренко, Д. А. Пантелеев, М. И. Жаворонков, М. П. Кострикин // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году: Сб. науч. тр. РААСН. Т. 2. М.: Издательство АСВ, 2021. С. 208–216.

3. Pukharenko Yu. V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M. I., Kostrikin M. P., Eshanzada Said Mujtaba Modelling the behavior of fiber-reinforced concrete with low-modulus fibers under load // «MATEC Web of Conferences» 329, 04002 (2020), ICMTMTE 2020.

4. Пухаренко Ю. В. Совершенствование методов определения силовых и энергетических характеристик трещиностойкости фибробетона / Ю. В. Пухаренко, Д. А. Пантелеев, М. И. Жаворонков // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 3. С. 301–310.

5. Duy N. Ph Strength of concrete columns reinforced with glass fiber reinforced polymer / Duy N.Ph., Anh Vu.N., Hiep D.Vu., Anh N.M.T. // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 1 (101). P. 10108.

6. Saad M. M. G., Almsajdi S.A.A.S., Nankya H., Abdulwahed B.M.H. Steel and basalt fiber comparison in the flexural strength of conventional concrete // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2021. № 2-1 (53). pp. 69–73.

7. Shafei B., Kazemian M., Dopko M., Najimi M. State-of-the-art review of capabilities and limitations of polymer and glass fibers used for fiber-reinforced concrete // Materials. 2021. Т. 14. № 2. pp. 1–45.

8. Коротких Д. Н. Закономерности разрушения структуры высокопрочных цементных бетонов на основе анализа полных равновесных диаграмм их деформирования (часть 1) // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. Вып. 26. 2012. С. 56–67.

9. Коротких Д. Н. Закономерности разрушения структуры высокопрочных цементных бетонов на основе анализа полных равновесных диаграмм их деформирования (часть 2) // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. Вып. 27. 2012. С. 54–62.

10. Лесовик В. С. Композиты нового поколения для специальных сооружений / В.С. Лесовик, Р.С. Федюк // Строительные материалы. 2021. № 3. С. 9–17.

11. Кострикин М. П. Эффективность дисперсного полиармирования бетона низкомодульными волокнами // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 2(85). С. 128–133.

12. Хегай А. О. Экспериментальные исследования деформативных свойств сталефибробетона повышенных классов / А. О. Хегай, Н. М. Кирилин, Т. С. Хегай, О. Н. Хегай // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 6(83). С. 77–82.

13. Storm J. A., Kaliske M., Pise M., Brands D., Schröder J. comparative study of micro-mechanical models for fiber pullout behavior of reinforced high performance concrete // Engineering Fracture Mechanics. 2021. Т. 243. P. 107506.

14. Xu M., Song S., Feng L., Zhou J., Li H., Li V. C. Development of basalt fiber engineered cementitious composites and its mechanical properties // Construction and Building Materials. 2021. Т. 266. P. 121173.

15. Holovata Z., Kirichenko D., Korneeva I., Neutov S., Vyhnanets M. Experimental studies of fiber-reinforced concrete under axial tension // Materials Science Forum. 2021. Т. 1038. pp. 323–329.

16. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композиционные материалы. Механика и технология / Пер. с англ. С. Л. Баженов. М.: Техносфера, 2004. 408 с.

17. Пухаренко Ю. В. Определение вклада фибры в формирование прочности сталефибробетона / Ю. В. Пухаренко, Д. А. Пантелеев, М. И. Жаворонков // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 1(60). С. 172–176.

REFERENCES

1. Puharenko Yu. V., Morozov V. I., Panteleev D. A., ZHavoronkov M. I. Opredelenie prochnosti sceplenii-ya armiruyushchih volokon s matricej v fibrobetone [Determination of the adhesion strength of reinforcing fibers with a matrix in a fibrobeton]. *Stroitel'nye materi-aly*. 2020; 3: 39–43. (in Russ.)

2. Puharenko Yu. V., Panteleev D. A., Zhavoron-kov M. I., Kostrikin M. P. Sovershenstvovanie meto-da opredeleniya velichiny scepleniya armiruyushchih volokon s matricej v fibrobetone [mproving the Method of Determining the Adhesion of Reinforcing Fibers with a Matrix in Fibrobeton]. *Fundamental'nye, poiskovye i prikladnye issledovaniya Rossijskoj akademii arhitek-tury i stroitel'nyh nauk po nauchnomu obespecheni-yu razvitiya arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federacii v 2020 godu: Sb. nauch.*

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

tr. RAASN. T. 2. Moscow, Izdatel'stvo ASV, 2021: 208–216. (in Russ.)

3. Pukharenko Yu. V., Panteleev D. A., Zhavoronkov M. I., Kostrikin M. P., Said Mujtaba Eshanzada Modelling the behavior of fiber-reinforced concrete with low-modulus fibers under load. «MATEC Web of Conferences» 329, 04002 (2020), ICMTMTE 2020.

4. Puharenko Yu. V., Panteleev D. A., ZHavoronkov M. I. Sovershenstvovanie metodov opredeleniya silovyh i energeticheskih harakteristik treshchinostojkosti fibrobetona [Improvement of Methods for Determination of Strength and Energy Characteristics of Fiber Concrete Crack Resistance]. *Vestnik MGSU*. 2019; T. 14. Vyp. 3: 301–310. (in Russ.)

5. Duy N. Ph., Anh Vu.N., Hiep D.Vu., Anh N.M.T. Strength of concrete columns reinforced with glass fiber reinforced polymer. *Magazine of Civil Engineering*. 2021; 1 (101): 10108.

6. Saad M. M. G., Almsajdi S. A. A. S., Nankya H., Abdulwahed B. M. H. Steel and basalt fiber comparison in the flexural strength of conventional concrete. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2021; 2-1 (53): 69–73.

7. Shafei B., Kazemian M., Dopko M., Najimi M. State-of-the-art review of capabilities and limitations of polymer and glass fibers used for fiber-reinforced concrete. *Materials*. 2021; T. 14. № 2:1–45.

8. Korotkih D. N. Zakonomernosti razrusheniya struktury vysokoprochnyh cementnyh betonov na osnove analiza polnyh ravnovesnyh diagramm ih deformirovaniya (chast' 1) [Patterns of destruction of the structure of high-strength cement concretes based on the analysis of complete equilibrium diagrams of their deformation (part 1)]. *Vestnik VolgGASU. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2012; Vyp. 26: 56–67. (in Russ.)

9. Korotkih D. N. Zakonomernosti razrusheniya struktury vysokoprochnyh cementnyh betonov na osnove analiza polnyh ravnovesnyh diagramm ih deformirovaniya (chast' 2) [Patterns of destruction of the structure of high-strength cement concretes based on the analysis of complete equilibrium diagrams of their deformation (part 2)]. *Vestnik VolgGASU. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura.* 2012; 27: 54–62. (in Russ.)

10. Lesovik V. S., Fedyuk R. S. Kompozity novogo pokoleniya dlya special'nyh sooruzhenij [New generation composites for special structures]. *Stroitel'nye materialy*. 2021; 3: 9–17. (in Russ.)

11. Kostrikin M. P. Effektivnost' dispersnogo poliarmirovaniya betona nizkomodul'nymi voloknami [Efficiency of dispersed polishing of concrete with low-modulus fibers]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov.* 2021; 2(85): 128–133. (in Russ.)

12. Hegaj A. O., Kirilin N. M., Hegaj T. S., Hegaj O. N. Eksperimental'nye issledovaniya deformativnyh svojstv stalefibrobetona povyshennyh klassov [Experimental studies of the deformative properties of elevated-grade steelefibrobeton]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. 2020; 6(83): 77–82. (in Russ.)

13. Storm J., Kaliske M., Pise M., Brands D., Schröder J. A comparative study of micro-mechanical models for fiber pullout behavior of reinforced high performance concrete. *Engineering Fracture Mechanics*. 2021; T. 243: 107506.

14. Xu M. Song S., Feng L., Zhou J., Li H., Li V.C. Development of basalt fiber engineered cementitious composites and its mechanical properties. *Construction and Building Materials*. 2021; T. 266:121173.

15. Holovata Z., Kirichenko D., Korneeva I., Neutov S., Vyhnanets M. Experimental studies of fiber-reinforced concrete under axial tension. *Materials Science Forum*. 2021; T. 1038: 323–329.

16. Mettyuz F. Rolings R. Kompozicionnie materiali. Mehanika i tehnologiya [Composites. Mechanics and technology]. Per. s angl. S.L. Bajenov. Moscow, Tehnosfera, 2004:408.

17. Puharenko Yu. V., Panteleev D. A., ZHavoronkov M. I. Opredelenie vklada fibry v formirovanie prochnosti stalefibrobetona [Determining the contribution of fiber to the formation of the strength of steel fiber concrete]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. 2017; 1(60):172–176. (in Russ.)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Пухаренко Ю. В. Формирование направления исследования, формулировка цели и задач.

Пантелеев Д. А. Проведение эксперимента по определению влияния геометрической формы стальных фибр на характеристику прочности сцепления.

Жаворонков М. И. Проведение эксперимента по определению влияния состава матрицы композита на характеристику прочности сцепления.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Yury V. Pukharenko. Statement of the study area, formulation of goals and objectives.

Dmitrii A. Panteleev. Conducting an experiment to determine the influence of the geometric shape of steel fibers on the characteristics of the adhesion strength.

Mikhail I. Zhavoronkov. Conducting an experiment to determine the effect of the composition of the matrix of the composite on the characteristics of the adhesion strength.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пухаренко Юрий Владимирович – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой ТСМиМ; НИИСФ РААСН – главный научный сотрудник.

Пантелеев Дмитрий Андреевич – канд. техн. наук, доц. кафедры ТСМиМ.

Жаворонков Михаил Ильич – канд. техн. наук, доц. кафедры ТСМиМ.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yury V. Pukharenko – Dr. of Sci., Professor, Head of the Building Materials Technology and Metrology Department, NIISF RAASN (Chief Researcher).

Dmitrii A. Panteleev – Cand. of Sci., Associate Professor of the Building Materials Technology and Metrology Department.

Mikhail I. Zhavoronkov – Cand. of Sci., Associate Professor of the Building Materials Technology and Metrology Department.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

УДК 624.1
DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-446-460
EDN: OJINCL
Научная статья

Check for updates

О ВЛИЯНИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ (НДС) ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ-ОБОЛОЧКИ ПЕРЕКРЫТИЯ

А. В. Селиванов[1*], Ф. Ф. Регер[2], И. А. Чакурин[3]
[1]Независимый исследователь, г. Омск, Россия
[2]ЗАО «ПИРС», г. Омск, Россия
[3]Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск, Россия
ant.seliwanov@yandex.ru, https://orcid.org0000-0001-6073-2690
fedorreger@gmail.ru, https://orcid.org0000-0002-3288-7457
chakurin@list.ru, https://orcid.org0000-0001-8414-069X
**ответственный автор*

АННОТАЦИЯ

Введение. *Произведена оценка влияния вида связей и величины предварительного напряжения продольной рабочей арматуры на НДС железобетонной плиты-оболочки перекрытия, разработанной авторами.*
Материалы и методы. *Исследования проводились на конечно-элементной модели железобетонной плиты-оболочки, реализованной в ПК «ЛИРА».*
Результаты. *Развитие величин напряжений и поперечных вертикальных перемещений напрямую зависели от условий опирания плиты-оболочки.*
Ограничение поперечных горизонтальных перемещений на опоре любым из выбранных способов позволяло уменьшить напряжения $\sigma_{x,\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ *в 3,47–3,78 раза, прогибы* $w_{\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ *в 1,5–1,52 раза, напряжения* $\sigma_{y}^{\text{ребро}}$ *– до 11,9 раза, прогибы* $w_{\text{ребро}}$ *– в 1,18–1,53 раза.*
Создание торцового ребра или ограничение перемещений дополнительной горизонтальной связью давали практически одинаковый эффект.
Поперечные горизонтальные перемещения нижней грани продольного контурного ребра в направлении пролета $u_{\text{ребро}}$*, возникавшие в плите-оболочке, не имевшей торцового ребра и ограничения перемещений в поперечном направлении, были в параболической связи с величинами вертикальных поперечных сил.*
В плите-оболочке с ограничением перемещений в поперечном направлении или с торцовым ребром перемещения $u_{\text{ребро}}$ *были в 3,88–4,32 раза меньше, а в торцах зависели от деформативности связей, т. е. при запрете горизонтального перемещения они были равны нулю.*
Напряжения, $\sigma_{x,\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ *действующие на нижней грани полки в поперечном направлении, в районе середины пролета в плите-оболочке с арматурой, предварительно напряженной до максимальной величины, имели положительные значения почти по всей ширине полки и напрямую зависели от толщины плиты в каждом сечении.*
Предварительное напряжение позволило уменьшить прогибы $w_{\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ *в 4,02–4,37 раза, прогибы* $w_{\text{ребро}}$ *в 1,09–5,59 раза, а также равномерно распределить напряжения* $\sigma_{y}^{\text{ребро}}$ *по длине продольного контурного ребра, сделать их только растягивающими, близкими к нулю по всей его длине.*
Предварительное напряжение арматуры максимальной величины позволило повысить горизонтальную жесткость продольного контурного ребра плиты-оболочки и ограничить его поперечные перемещения $u_{\text{ребро}}$*.*
Поперечные перемещения, возникавшие вблизи опоры предварительно напряженной плиты-оболочки, были в 1,04–1,2 раза меньше, чем в плите-оболочке с ненапрягаемой арматурой, на остальной части пролета – незначительно больше, изменяясь равномерно, без резких изменений, в отличие от плиты-оболочки с ненапрягаемой арматурой.

© Селиванов А. В., Регер Ф. Ф., Чакурин И. А., 2022

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Обсуждение и заключение. *Установлено, что оптимальная конструкция исследуемой плиты-оболочки перекрытия должна иметь ограничения перемещений у опор и максимально возможное предварительное напряжение продольной рабочей арматуры.*
Практическая значимость проведенного исследования состоит в том, что указанные опорные условия и предварительное напряжение позволяют обеспечить максимальную деформативную стойкость конструкции, которая в нашем случае напрямую влияет на несущую способность плиты.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *компьютерное моделирование, железобетонная плита-оболочка перекрытия, оценка влияния вида связей и величины предварительного напряжения продольной рабочей арматуры.*

БЛАГОДАРНОСТИ: *авторы выражают благодарность рецензентам за внимание, уделенное на рецензирование статьи и высказанные замечания.*

Статья поступила в редакцию 12.05.2022; одобрена после рецензирования 29.05.2022; принята к публикации 10.06.2022.
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: Селиванов А. В., Регер Ф. Ф., Чакурин И. А. О влиянии конструктивных особенностей на напряженно-деформированное состояние (НДС) железобетонной плиты-оболочки перекрытия // *Вестник СибАДИ.* 2022. Т.19, № 3 (85). С. 446-460. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-446-460

DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-446-460
EDN: OJINCL
Original article

ON INFLUENCE OF STRUCTURAL FEATURES ON STRESS-STRAIN STATE (SSS) OF A REINFORCED CONCRETE FLOOR SLAB

Anton V. Selivanov[1]*, Fedor F. Reger[2], Ivan A. Chakurin[3]
[1]Independent researcher, Omsk, Russia
[2]ZAO PIRS, Omsk, Russia
[3]Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia
ant.seliwanov@yandex.ru, https://orcid.org0000-0001-6073-2690
fedorreger@gmail.ru, https://orcid.org0000-0002-3288-7457
chakurin@list.ru, https://orcid.org0000-0001-8414-069X
**corresponding author*

ABSTRACT

Introduction. *An assessment of the influence for the type of bonds and the magnitude of the prestress of the longitudinal working reinforcement on the stress-strain state of the reinforced concrete floor slab, developed by the authors was made.*
Materials and methods. *The studies on a finite element model of a reinforced concrete floor slab, implemented in LIRA software package were carried out.*
Results. *The development of stress values and transverse vertical displacements directly depended on the support conditions of the floor slab.*
Limitation of transverse horizontal displacements on the support by any of the selected methods made it possible to reduce $\sigma_{x,\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ *stresses by 3.47 - 3.78 times,* $w_{\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ *deflections by 1.5 - 1.52 times,* $\sigma_{y}^{\text{ребро}}$ *stresses - up to 11.9 times,* $w_{ребро}$ *deflections - 1.18–1.53 times.*
Creating an end rib or limiting movement with an additional horizontal connection had almost the same effect.

© Selivanov A. V., Reger F. F., Chakurin I. A., 2022

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

The transverse horizontal displacements of the lower face of the longitudinal contour rib in the direction of the $u_{\text{ребро}}$ *span which occurred in the floor slab, which did not have an end rib and limitation of displacements in the transverse direction, were in a parabolic relationship with the magnitudes of the vertical transverse forces.*
In a florr slab with limited displacements in the transverse direction or with an end rib, $u_{\text{ребро}}$ *displacements were 3.88–4.32 times less, and at the ends they depended on the deformability of the bonds, i.e. when horizontal movement was prohibited, they were equal to zero.*
$\sigma_{x,\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ *stresses acting on the lower edge of the flange in the transverse direction, in the region of the middle of the span in the floor slab with reinforcement prestressed to the maximum value, had positive values almost over the entire width of the flange and directly depended on the thickness of the slab in each section.*
Prestressing made it possible to reduce $w_{\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ *deflections by 4.02 - 4.37 times,* $w_{ребро}$ *deflections by 1.09 - 5.59 times, and evenly distribute* $\sigma_{y}^{\text{ребро}}$ *stresses along the length of the longitudinal contour rib, to make they are only tensile, close to zero along its entire length.*
The prestressing of the reinforcement of the maximum value made it possible to increase the horizontal rigidity of the longitudinal contour rib of the floor slab and limit its transverse $u_{\text{ребро}}$ *movements.*
The transverse displacements that occurred near the support of the prestressed shell slab were 1.04 - 1.2 times less than in the shell slab with non-stressed reinforcement, on the rest of the span - slightly more, changing evenly, without sharp changes, unlike floor slabs with non-stressed reinforcement.
Discussion and conclusion. *It is established that the optimal design of the floor slab under the study should have restrictions on the movements of the supports and the maximum possible prestressing of the longitudinal working reinforcement.*
The practical significance of the study is that the specified reference conditions and prestress allow maximum deformation resistance of the structure, which in our case directly affects the bearing capacity of the slab.

KEYWORDS: *computer simulation; reinforced concrete floor slab; assessment for the influence of the connections type and the magnitude of the prestress of the longitudinal working reinforcement.*

ACKNOWLEDGEMENTS: *The authors thank the reviewers for the attention paid to reviewing the article and their comments.*

The article was submitted 12.05.2022; approved after reviewing 29.05.2022; accepted for publication 12.06.2022.
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: Selivanov A. V., Reger F. F., Chakurin I. A. On influence of structural features on stress-strain state of a reinforced concrete floor slab. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2022; 19 (3): 446-460. https://doi.org/10.26518/2071-7296- 2022-19-3-446-460

ВВЕДЕНИЕ

Цель теоретического исследования, выполненного в данной работе, состояла в оценке влияния вида связей и величины предварительного напряжения продольной рабочей арматуры на НДС железобетонной плиты перекрытия[1, 2, 3] [1], разработанной авторами, являющейся плитой-оболочкой [2, 3, 4, 5, 6, 7] – конструкцией, имеющей прямоугольный в плане контур, одну из поверхностей криволинейную (в одном или двух направлениях), другую – плоскую.

Для ее достижения требовалось решить следующие задачи:

1) оценить актуальность выбранного конструктивного решения;

2) оценить влияние связей на НДС исследуемой конструкции;

3) оценить влияние предварительного напряжения на НДС предлагаемой конструкции.

1. Оценка актуальности выбранного конструктивного решения.

[1] Власов В. З. Избранные труды, том I. Москва, Издательство Академии наук СССР, 1962. 528 с.

[2] Боровских А. В. Расчеты железобетонных конструкций по предельным состояниям и предельному равновесию. Москва. 2002. 320 с.

[3] Селиванов А. В., Регер Ф. Ф. Оптимизация конструкции железобетонной плиты-оболочки с учетом современных тенденций в строительстве // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы. Омск. 2016. С. 209–216.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Сборные железобетонные ребристые плиты[4] [8, 9] длительное время использовались в перекрытиях и покрытиях различных зданий. В 90-е годы в связи с сокращением объемов промышленного строительства их на многих заводах сняли с производства. В настоящее время возникла потребность в ребристых плитах. При возобновлении их производства возникает ряд вопросов, связанных прежде всего с технологией изготовления. От агрегатно-поточной технологии[5], широко используемой для производства ребристых плит, заводы г. Омска постепенно отказываются в пользу безопалубочной [10, 11, 12, 13, 14, 15]. Последняя, при всех ее достоинствах, имеет ряд ограничений (невозможность установки поперечной арматуры, постоянный профиль по всей длине и т. д.), не позволяющих изготавливать ребристые плиты.

Технологические и эксплуатационные недостатки типовых ребристых плит обусловлены наличием в них поперечных ребер, отказ от которых возможен при облегчении условий работы полки. Одним из способов является устройство нижней поверхности полки вогнутого очертания и продольных пустот, расположенных рядом с боковыми продольными ребрами, что превращает полку из изгибаемого элемента в сжатый свод, распор от которого воспринимается относительно массивным продольным контуром [16, 17, 18].

Нами была предпринята попытка скомпоновать конструкцию, сочетающую в себе экономичность типовых ребристых плит перекрытий с технологичностью пустотных элементов, изготавливаемых по технологии безопалубочного формования [19, 20, 21, 22], и предложена железобетонная плита-оболочка, изготовление которой возможно по технологии безопалубочного формования, включающая верхнюю горизонтальную полку и нижнюю изогнутую, продольные боковые и промежуточные ребра и продольные пустоты, размещенные между ребрами (рисунок 1).

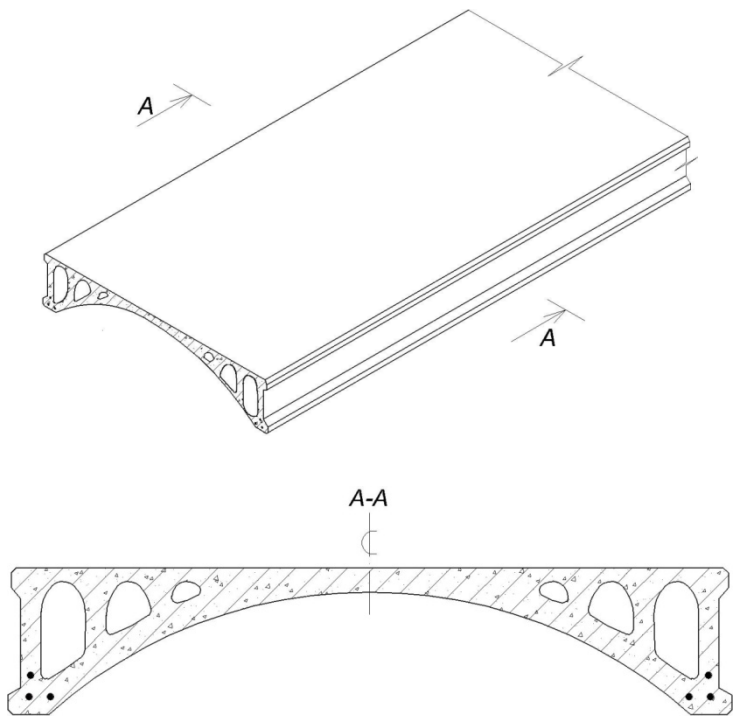


Рисунок 1 – Конструктивное решение плиты-оболочки
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Structural solution of the floor slab
Source: compiled by the authors.

[4] Голышев А. Б., Бачинский В. Я., Полищук В. П. [и др.] Проектирование железобетонных конструкций. Справочное пособие. Киев. 1985. 496 с.

[5] Батяновский Э. И. Технология бетонных и железобетонных изделий: учебное пособие. Минск. 2017. 305 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Плита армирована продольными предварительно напряженными элементами, нижняя полка выполнена вогнутой в сторону верхней полки. Размеры сечений продольных пустот уменьшаются от боковых ребер к центру плиты. Сечения продольных пустот, расположенных рядом с боковыми продольными ребрами, выполнены эллипсоидальными, сечения других продольных пустот выполнены в форме дуг окружностей (см. рисунок 1).

Конструктивное решение исследуемой конструкции и технология ее изготовления были приняты исходя из следующих соображений:

1. Имея в виду общие особенности напряженного состояния тонкостенных пространственных покрытий, внутренние усилия в длинных цилиндрических оболочках приближенно можно определять по безмоментной теории[6].

Такое же приближение можно сделать и в отношении плиты-оболочки с пустотами, что подтвердили результаты экспериментальных исследований [1], позволившие отказаться от установки арматурных сеток в ее полке и каркасов в ребрах, и изготавливать ее с применением технологии стендового безопалубочного формования, признанной в настоящее время одной из самых современных, позволяющей уменьшить численность обслуживающего персонала в 2–2,5 раза, энергоемкость на 50–70%, повысить производительность производства.

2. Сравнение технико-экономических показателей (ТЭП) плит-оболочек с другими вариантами сборных плит показало, что данное конструктивное решение уступает по расходу бетона только ребристым плитам: приведенная толщина ребристых плит – 0,091 м, нашего варианта – 0,106 м, а по расходу арматуры наш вариант превосходит ребристые плиты на 26%. Совокупные затраты на материалы для изготовления плит нашего варианта являются минимальными по сравнению с расходами на изготовление других сборных плит, а в сочетании с низкой себестоимостью технологии безопалубочного формования делает плиту-оболочку с пустотами вполне конкурентоспособным продуктом на строительном рынке.

При выполнении исследований плиты-оболочки с пустотами на основе оценки адекватности использовалась КЭ-схема, в которой стержневая арматура соединена с бетоном через горизонтальные жесткие вставки, с шагом, равным длине объемных КЭ.

Усилие предварительного напряжения заменялось температурным воздействием, действующим по всей длине арматурных стержней.

2. Оценка влияния связей на НДС предлагаемой конструкции.

На первом этапе исследовалось влияние условий опирания на НДС исследуемой плиты-оболочки. Для этого были рассчитаны варианты, приведенные в таблице 1.

На рисунках 2, 3, 4, 5 приведены эпюры, демонстрирующие изменения сравниваемых параметров НДС, полученные в результате расчетов вариантов 1–3 в ПК «Лира».

Анализ результатов, полученных на первом этапе исследований, позволил сделать следующие выводы:

1. Развитие величин напряжений и прогибов напрямую зависели от условий опирания плиты-оболочки. Ограничение поперечных горизонтальных перемещений на опоре любым из выбранных способов позволяло уменьшить напряжения $\sigma_{x,\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ в 3,47–3,78 раза, прогибы $w_{\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ в 1,5–1,52 раза, напряжения $\sigma_{y}^{\text{ребро}}$ – до 11,9 раза, прогибы $w_{\text{ребро}}$ в 1,18–1,53 раза.

Причем создание торцового ребра или ограничение перемещений дополнительной горизонтальной связью давали практически одинаковый эффект.

2. Поперечные горизонтальные перемещения нижней грани продольного контурного ребра в направлении пролета $u_{\text{ребро}}$, возникавшие в плите-оболочке, не имевшей торцового ребра и ограничения перемещений в поперечном направлении (вариант 1), были в параболической связи с величинами вертикальных поперечных сил.

В плите-оболочке с ограничением перемещений в поперечном направлении (вариант 2) или с торцовым ребром (вариант 3) значения перемещения $u_{\text{ребро}}$ были в 3,88–4,32 раза меньше, а в торцах зависели от деформативности связей, т. е. при запрете горизонтального перемещения они были равны нулю.

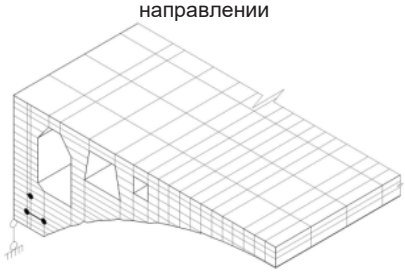
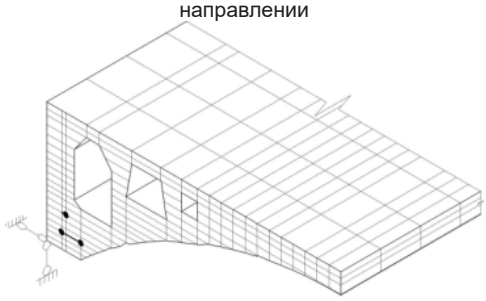
3. Оценка влияния степени предварительного напряжения арматуры и трещинообразования продольных контурных ребер на НДС предлагаемой конструкции.

[6] Байков В. Н., Дроздов П. Ф., Трифонов И. А. Железобетонные конструкции: учебное пособие. Москва. 1974. 800 с.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Таблица 1
Влияние условий опирания на НДС исследуемой плиты-оболочки
Источник: составлено авторами.

Table 1
Influence of SSS-based conditions of the floor slab under the study
Source: compiled by the authors.

№ этапа	№ варианта	Описание КЭ-модели и чертеж ее опорного сечения	Сравниваемые параметры НДС
1	1	плита-оболочка без торцового ребра и ограничения перемещений в поперечном направлении 	$\sigma_{x,\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ – напряжения, действующие на нижней грани полки в поперечном направлении, в районе середины пролета; $w_{\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ – прогибы полки в поперечном направлении в районе середины пролета; $\sigma_{y}^{\text{ребро}}$ – напряжения, действующие на нижней грани продольного контурного ребра в направлении пролета; $w_{ребро}$ – прогибы продольного контурного ребра в направлении пролета; $u_{\text{ребро}}$ – горизонтальные перемещения продольного контурного ребра в направлении пролета
	2	плита-оболочка без торцового ребра, с ограничением перемещений в поперечном направлении 	
	3	плита-оболочка с торцовым ребром	

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

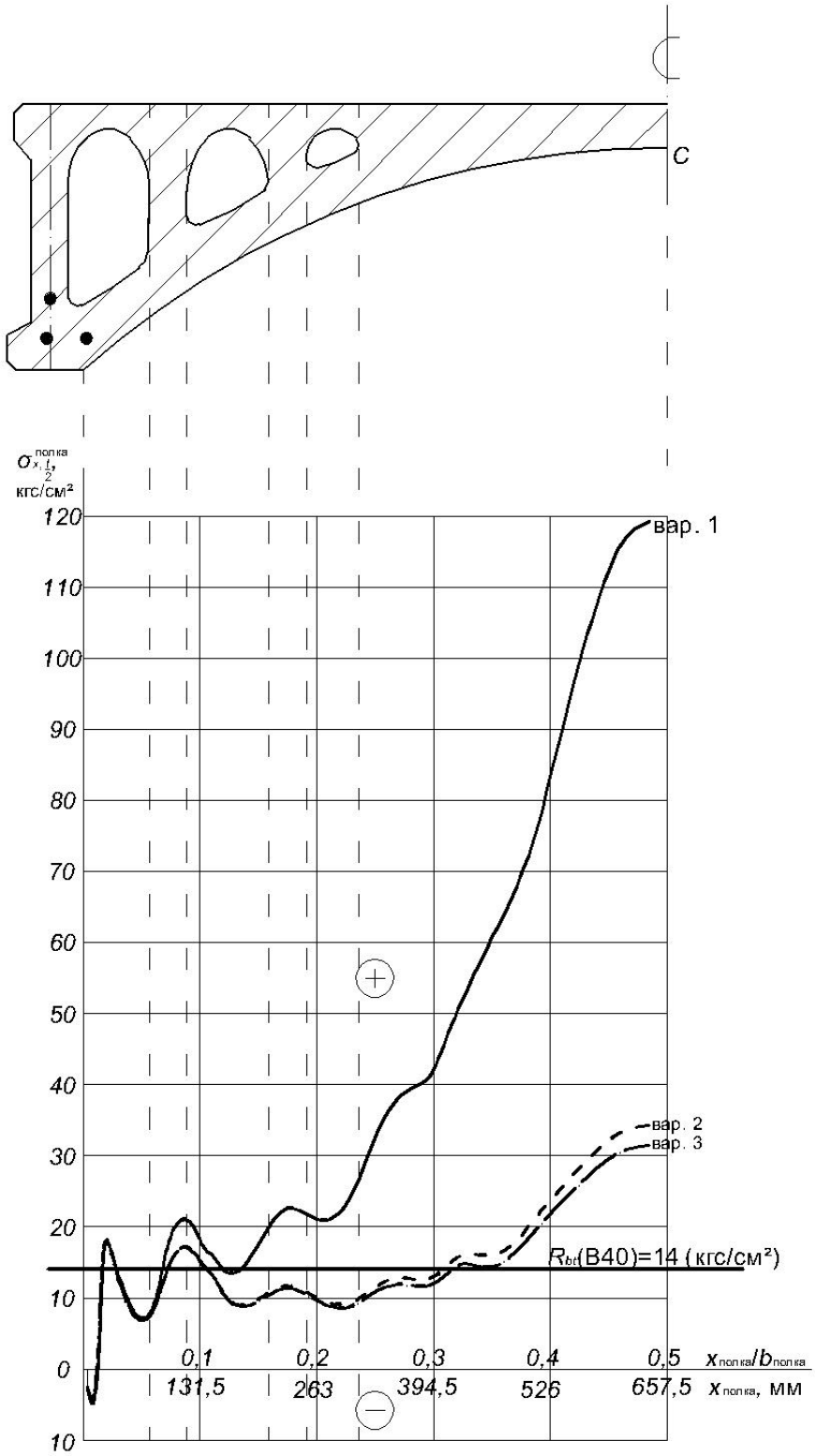


Рисунок 2 – Напряжения $\sigma^{полка}_{x,\frac{l}{2}}$, возникающие в плите-оболочке с пустотами при варьировании условий ее опирания
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – $\sigma^{полка}_{x,\frac{l}{2}}$ voltages arising in a floor slab with voids when the conditions of its support vary
Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

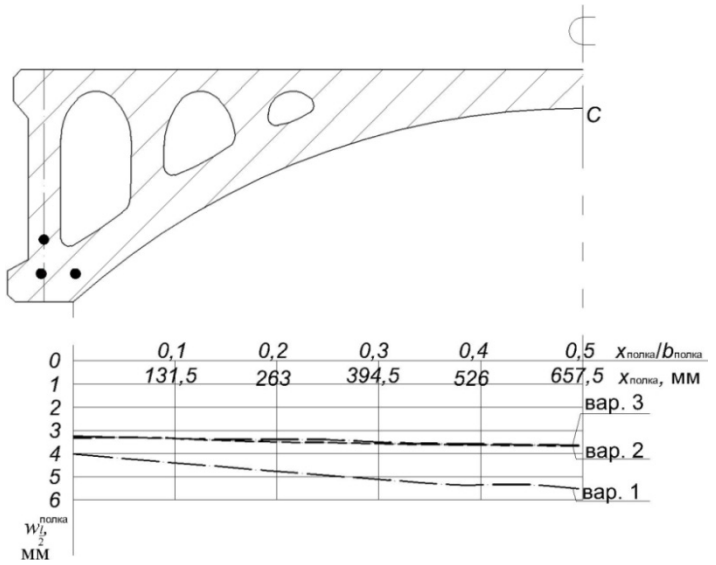


Рисунок 3 – Прогибы $w_{\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$, возникающие в плите-оболочке с пустотами при варьировании условий ее опирания
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – $w_{\frac{l}{2}}^{\text{полка}}$ deflections, arising in a shell plate with voids when the conditions of its support vary
Source: compiled by the authors.

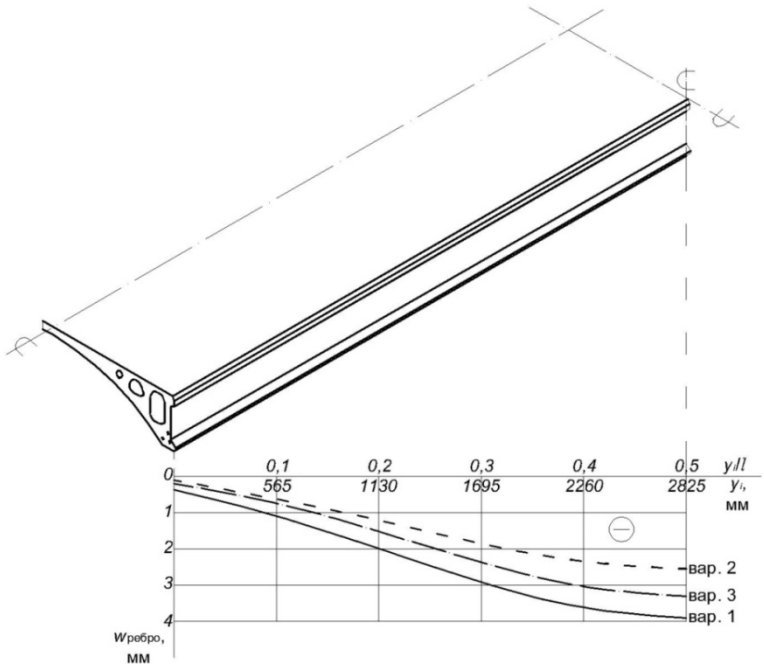


Рисунок 4 – Прогибы $w_{ребро}$, возникающие в плите-оболочке с пустотами при варьировании условий ее опирания
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – $w_{ребро}$ deflections, arising in a floor slab with voids when the conditions of its support vary
Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

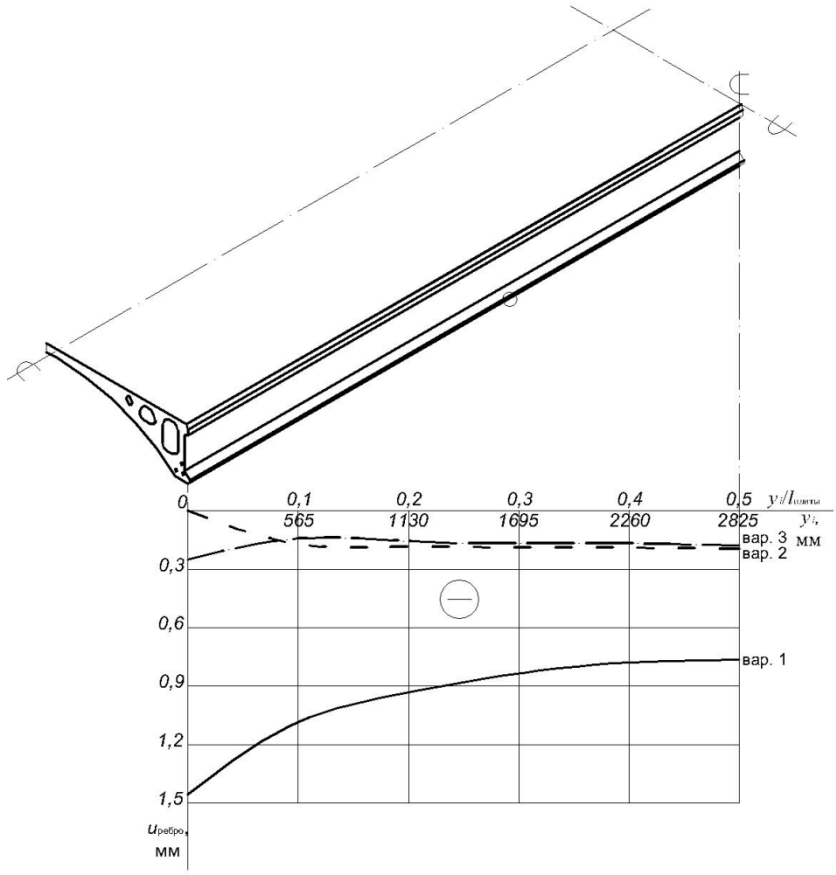


Рисунок 5 – Перемещения $u_{ребро}$, возникающие в плите-оболочке с пустотами при варьировании условий ее опирания
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – $u_{ребро}$ displacements, arising in a floor slabwith voids when the conditions of its support vary
Source: compiled by the authors.

На втором этапе исследовалось влияние степени предварительного напряжения продольной рабочей арматуры, расположенной в продольных контурных ребрах, и трещинообразования этих ребер на изменение НДС исследуемой конструкции.

На основании результатов, полученных на первом этапе, для исследований, выполняемых на втором этапе, была выбрана плита-оболочка с ограничением перемещений в поперечном направлении (вариант 2).

Исследования проводились при двух степенях предварительного напряжения и трещинообразования: степень 0 – предварительное напряжение отсутствует (σ_{sp}=0), в продольном контурном ребре смоделированы семь нормальных трещин; степень 1 – предварительное напряжение равно максимальному значению $\sigma_{sp}=\sigma_{sp,max}-\sigma_{sp1}-\sigma_{sp2}=8740\ \frac{кгс}{см^2}$, трещины отсутствуют.

В таблице 2 приведен план исследований, выполненных на втором этапе.

На рисунках 6, 7, 8, 9 приведены результаты расчетов, выполненных в ПК «Лира» на втором этапе.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Таблица 2
План исследований второго этапа
Источник: составлено авторами.

Table 2
Phase 2 Study Plan
Source: compiled by the authors.

№ этапа	Степени пред. напряжения и трещинообразования	Описание КЭ-модели и чертеж ее опорного сечения	Пред. напряжение, $\frac{кгс}{см^2}$	Сравниваемые параметры НДС
2	0	плита-оболочка без торцового ребра, с ограничением перемещений в поперечном направлении	0	см. таблицу 1
	1		8740	

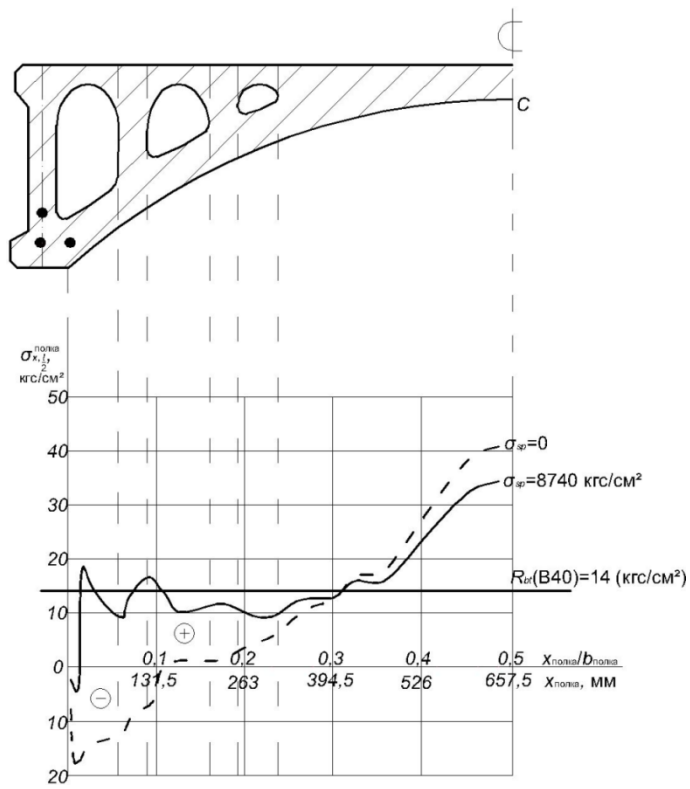


Рисунок 6 – Напряжения $\sigma^{полка}_{x,\frac{l}{2}}$, возникающие при рассмотренных степенях предварительного напряжения и трещинообразования
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – $\sigma^{полка}_{x,\frac{l}{2}}$ stresses arising at the considered degrees of prestressing and cracking
Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

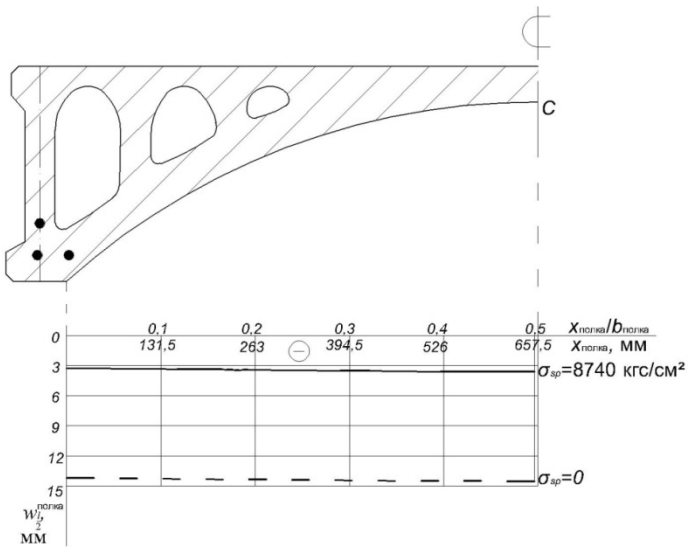


Рисунок 7 – Прогибы $w_{\frac{l}{2}}^{полка}$, возникающие при рассмотренных степенях предварительного напряжения и трещинообразования
Источник: составлено авторами.

Figure 7 – $w_{\frac{l}{2}}^{полка}$ deflections arising at the considered degrees of prestressing and cracking
Source: compiled by the authors.

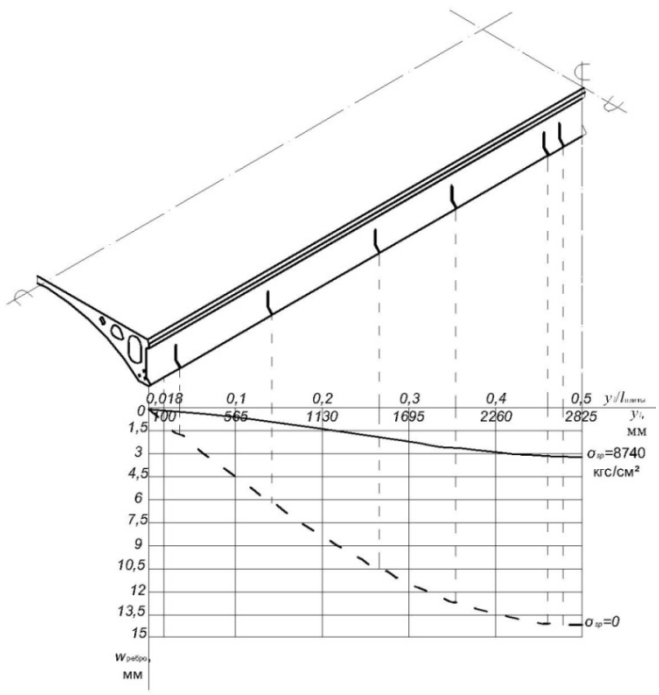


Рисунок 8 – Прогибы $w_{ребро}$, возникающие при рассмотренных степенях предварительного напряжения и трещинообразования
Источник: составлено авторами.

Figure 8 – $w_{ребро}$ deflections arising at the considered degrees of prestressing and cracking
Source: compiled by the authors.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

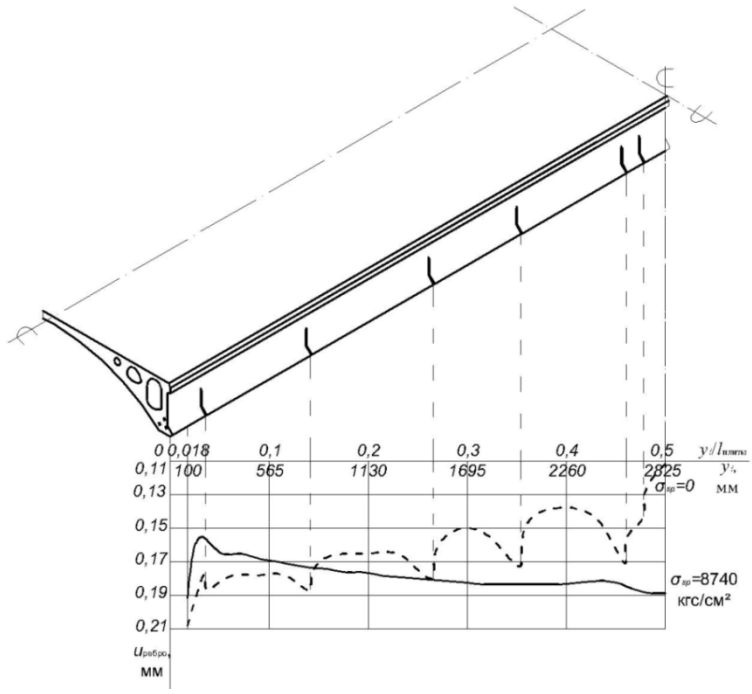


Рисунок 9 – Перемещения $u_{ребро}$, возникающие при рассмотренных степенях предварительного напряжения и трещинообразования
Источник: составлено авторами.

Figure 9 – $u_{ребро}$ movements arising at the considered degrees of prestressing and cracking
Source: compiled by the authors.

Анализ результатов, полученных на втором этапе исследований, позволил сделать следующие выводы:

1. Напряжения , возникающие в плите-оболочке с арматурой, предварительно напряженной до максимальной величины, имели положительные значения почти по всей ширине полки и напрямую зависели от толщины плиты в каждом сечении. Такая стабильность обусловлена высокой жесткостью продольного контурного ребра, которая позволяла ограничивать его перемещения в поперечном направлении от опоры до середины пролета.

Отсутствие предварительного напряжения резко уменьшило жесткость и трещиностойкость, что приводило к образованию трещин и уменьшению влияния ограничения горизонтального перемещения, созданного в торцах. В результате и значения поперечных нормальных напряжений имели большую амплитуду изменений.

Кроме того, предварительное напряжение позволило уменьшить прогибы в 4,02–4,37 раза, прогибы $w_{ребро}$ в 1,09–5,59 раза, а также равномерно распределить напряжения по длине продольного контурного ребра, сделать их только растягивающими, близкими к нулю по всей его длине.

2. Предварительное напряжение арматуры максимальной величины позволило повысить горизонтальную жесткость продольного контурного ребра плиты-оболочки и ограничить его поперечные перемещения .

Поперечные перемещения, возникавшие вблизи опоры предварительно напряженной плиты-оболочки, были в 1,04–1,2 раза меньше, чем в плите-оболочке с ненапрягаемой арматурой, на остальной части пролета – незначительно больше, изменяясь равномерно, без резких изменений, в отличие плиты-оболочки с ненапрягаемой арматурой.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выводы, сделанные на первом и втором этапах исследований, позволяют принять решение о том, что оптимальная конструкция исследуемой плиты-оболочки перекрытия должна иметь ограничения перемещений у опор и максимально возможное предварительное напряжение продольной рабочей арматуры. Такое конструктивное решение позволяет обеспечить максимальную деформативную стойкость конструкции, которая в нашем случае напрямую влияет на несущую способность плиты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Селиванов А. В., Регер Ф. Ф. Результаты экспериментальных исследований железобетонной плиты-оболочки // Вестник СибАДИ. 2019;16(3):378–392. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-378-392

2. Боровских А. В. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных плит-оболочек // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. Москва. 2008. С.82–86.

3. Боровских А. В. К вопросу о проектировании железобетонных перекрытий зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 12(83). С.67–70.

4. Бастатский Б. Н., Барабадзе Н. Г., Адамова М. Г. О выборе формы поперечного сечения вспарушенных плит // Пространственные конструкции зданий и сооружений. 1985. Вып. 5. С. 128–133.

5. Боровских А. В., Шугаев В. В. Силовое сопротивление перекрытий зданий из плит-оболочек // Пространственные конструкции зданий и сооружений. 2005. С.15–16.

6. John F. Abel. The future of spatial structures // Fifty Years of Progress for Shell and Spatial Structures. Brentwood. UK: Multi Science Publishing Co Ltd., 2011. Pp. 485-490.

7. Fib Model Code for Concrete Structures 2010. Berlin: Ernst&Sohn, 2013. 402 p.

8. Скорук Л. Поиск эффективных расчетных моделей ребристых железобетонных плит перекрытий // CADmaster. 2004. № 3. С. 78–83.

9. Кодыш Э. Н., Трекин Н. Н., Вавилов О. В., Колойденко С. В. Плиты перекрытий 2Т для технологии непрерывного формования // Бетон и железобетон. 2001. № 6. С. 5–8.

10. Копша С. П., Заикин В. А. Технология безопалубочного формования – ключ к модернизации промышленности и снижению себестоимости жилья // Технологии бетонов. 2013. № 11. С. 29–33.

11. Малышев А. А. Современные линии безопалубочного формования // Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии. 2009. Вып. 1. С. 20–23.

12. Лощенко А. Л., Копша С. П., Бикбау М. Я. Строительно-индустриальный кластер – передовые технологии и машиностроение для строительства // Технологии бетонов. 2013. № 8. С. 28– 30.

13. Бикбау М. Я. Архитектурно-строительная система ИМЭТ – новая технологическая основа домостроения // ЖБИ и конструкции. 2012. № 2. С. 64–71.

14. Бикбау М. Я., Блинов В. П. Дом россиянина должен быть крепостью // ЖБИ и конструкции. 2012. № 3. С. 64–70.

15. Бикбау М. Я. Новые цементы и бетоны. Открытие явления нанокапсуляции дисперсных веществ // ЖБИ и конструкции. 2012. № 4. С. 67–72.

16. Баранова Т. И., Сильванович Т. Г., Викторов В. Г., Бормотов А. Н. Пустотная панель покрытий производственных зданий // Известия вузов. Строительство. 1995. № 11. С. 3–6.

17. Баранова Т. И., Сильванович Т. Г., Бормотов А. Н. Облегченная пустотная панель покрытия // Инженерные проблемы современного железобетона. Иваново. 1995. С. 42–47.

18. Баранова Т. И., Сильванович Т. Г., Бормотов А. Н., Селиванов М. Ю. Реализация конструкционно-технологических особенностей железобетона при разработке новых типов панелей перекрытий // Известия вузов. Строительство. 1997. № 4. С. 7–9.

19. Фардиев Р. Ф., Ашрапов А. Х., Мустафин А. И. Исследование несущей способности пустотных плит перекрытия при сниженной величине опирания на ригели // Известия КГАСУ. 2014. № 4 (30). С. 172–177.

20. Босаков Б. В., Белевич В. Н., Щетько Н. С., Райчев В. П. Расчет и экспериментальная оценка прочности многопустотных плит безопалубочного формования с учетом требований EN // Строительная наука и техника. 2010. № 6 (33). С. 47–54.

21. Босаков Б. В., Белевич В. Н., Щетько Н. С. Теоретические исследования по определению положения наклонной трещины в приопорной зоне преднапряженных плит безопалубочного формования // Вестник Белорусско-Российского университета. 2011. № 2 (31). С. 127–133.

22. Босаков Б. В., Белевич В. Н., Щетько Н. С. Определение величины втягивания канатов в изгибаемых преднапряженных железобетонных плитах безопалубочного формования // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. 2010. № 1 (61). С. 46–50.

REFERENCES

1. Selivano A. V., Reger F. F. Results of experimental research of the reinforced concrete shell-slab. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2019;16(3):378-392. (In Russ.) https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-3-378-392

2. Borovskih A. V. Issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija zhelezobetonnyh plit-obolochek [Investigation of the stress-strain state of reinforced concrete shell plates]. *Obzorno-analiticheskij i nauchno – tehnicheskij zhurnal Stroitel'naja mehanika*

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. Moskva, 2008. pp.82-86. (In Russ.)

3. Borovskih A. V. K voprosu o proektirovanii zhelezobetonnyh perekrytij zdanij [On the issue of designing reinforced concrete floors of buildings]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka*. 2005; 12(83): 67-70. (In Russ.)

4. Bastatskij B. N., Barabadze N. G., Adamova M. G. O vybore formy poperechnogo sechenija vsparushennyh plit [On the choice of the shape of the cross-section of the broken plates]. *Prostranstvennye konstrukcii zdanij i sooruzhenij*. 1985; 5:128-133. (In Russ.)

5. Borovskih A. V., Shugaev V. V. Silovoe soprotivlenie perekrytij zdanij iz plit-obolochek [Force resistance of the floors of buildings made of shell plates]. *Prostranstvennye konstrukcii zdanij i sooruzhenij*. 2005:15-16. (In Russ.)

6. John F. Abel. The future of spatial structures // Fifty Years of Progress for Shell and Spatial Structures. Brentwood. UK: Multi Science Publishing Co Ltd., 2011. Pp. 485-490.

7. Fib Model Code for Concrete Structures 2010. Berlin: Ernst&Sohn, 2013. 402 p.

8. Skoruk L. Poisk jeffektivnyh raschetnyh modelej rebristyh zhelezobetonnyh plit perekrytij [Search for effective computational models of ribbed reinforced concrete floor slabs]. *CADmaster*. 2004; 3: 78-83. (In Russ.)

9. Kodysh Je. N., Trekin N. N., Vavilov O. V., Kolojdenko S. V. Plity perekrytij 2T dlja tehnologii nepreryvnogo formovanija [2T floor slabs for continuous molding technology]. *Beton i zhelezobeton*. 2001; 6: 5-8. (In Russ.)

10. Kopsha S. P., Zaikin V. A. Tehnologija bezopalubochnogo formovanija – kljuch k modernizacii promyshlennosti i snizheniju sebestoimosti zhil'ja [Technology of formless molding – the key to modernization of industry and reduction of housing costs]. *Tehnologii betonov*. 2013; 11: 29-33. (In Russ.)

11. Malyshev A. A. Sovremennye linii bezopalubochnogo formovanija [Modern lines of formless molding]. *Beton i zhelezobeton. Oborudovanie. Materialy. Tehnologii*. 2009; 1:20-23. (In Russ.)

12. Loshhenko A. L., Kopsha S. P., Bikbau M. Ja. Stroitel'no-industrial'nyj klaster – peredovye tehnolog ii i mashinostroenie dlja stroitel'stva [Construction and industrial cluster - advanced technologies and mechanical engineering for construction]. *Tehnologii betonov*. 2013; 8: 28-30. (In Russ.)

13. Bikbau M. Ja. Arhitekturno-stroitel'naja sistema IMJeT – novaja tehnologicheskaja osnova domostroenija [Architectural and construction system IMET - a new technological basis of house construction]. *ZhBI i konstrukcii*. 2012; 2: 64-71. (In Russ.)

14. Bikbau M. Ja., Blinov V. P. Dom rossijanina dolzhen byt' krepost'ju [The house of a Russian should be a fortress]. *ZhBI i konstrukcii*. 2012; 3:64-70. (In Russ.)

15. Bikbau M. Ja. Novye cementy i betony. Otkrytie javlenija nanokapsuljacii dispersnyh veshhestv [Discovery of the phenomenon of nanocapsulation of dispersed substances]. *ZhBI i konstrukcii.* 2012; 4:67-72. (In Russ.)

16. Baranova T. I., Sil'vanovich T. G., Viktorov V. G., Bormotov A. N. Pustotnaja panel' pokrytij proizvodstvennyh zdanij [Hollow panel of coatings of industrial buildings]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*. 1995; 11: 3–6. (In Russ.)

17. Baranova T. I., Sil'vanovich T. G., Bormotov A. N. Oblegchennaja pustotnaja panel' pokrytija [Lightweight hollow coating panel]. *Inzhenernye problemy sovremennogo zhelezobetona*. Ivanovo. 1995: 42-47. (In Russ.)

18. Baranova T. I., Sil'vanovich T. G., Bormotov A. N., Selivanov M. Ju. Realizacija konstrukcionno-tehnologicheskih osobennostej zhelezobetona pri razrabotke novyh tipov panelej perekrytij [Implementation of structural and technological features of reinforced concrete in the development of new types of floor panels]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*. 1997; 4: 7–9. (In Russ.)

19. Fardiev R. F., Ashrapov A. H., Mustafin A. I. Issledovanie nesushhej sposobnosti pustotnyh plit perekrytija pri snizhennoj velichine opiranija na rigeli [Investigation of the bearing capacity of hollow floor slabs with a reduced amount of support on the crossbars]. *Izvestija KGASU*. 2014; 4 (30): 172-177. (In Russ.)

20. Bosakov B. V., Belevich V. N., Shhet'ko N. S., Rajchev V. P. Raschet i jeksperimental'naja ocenka prochnosti mnogopustotnyh plit bezopalubochnogo formovanija s uchetom trebovanij EN [Calculation and experimental evaluation of the strength of hollow plates of formwork molding taking into account the requirements of EN]. *Stroitel'naja nauka i tehnika*. 2010; 6 (33): 47-54. (In Russ.)

21. Bosakov B. V., Belevich V. N., Shhet'ko N. S. Teoreticheskie issledovanija po opredeleniju polozhenija naklonnoj treshhiny v priopornoj zone prednaprjazhennyh plit bezopalubochnogo formovanija [Theoretical studies on determining the position of an inclined crack in the support zone of prestressed slabs of formwork molding]. *Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta*. 2011; 2 (31):127-133. (In Russ.)

22. Bosakov B. V., Belevich V. N., Shhet'ko N. S. Opredelenie velichiny vtjagivanija kanatov v izgibaemyh prednaprjazhennyh zhelezobetonnyh plitah bezopalubochnogo formovanija [Determination of the amount of rope retraction in bent prestressed reinforced concrete slabs without formwork molding]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvoiarhitektura*. 2010; (61): 46-50. (In Russ.)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Селиванов А. В. Подготовка и проведение компьютерного моделирования, обработка полученных результатов, оформление статьи. Вклад соавтора составляет 40%.

Регер Ф. Ф. Руководство и участие в подготовке и проведении компьютерного моделирования, анализ полученных результатов, редактирование статьи. Вклад соавтора составляет 40%.

Чакурин И. А. Редактирование и оформление статьи. Вклад соавтора составляет 20%.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Anton V. Selivanov. Preparation and implementation of computer modelling, processing of the results obtained, design of the article. The co-author contribution is 40%.

Fedor F. Reger. Management and participation in the preparation and conduct of computer modelling, analysis of the results obtained, editing of the article. The co-author contribution is 40%.

Chakurin I. A. Editing and design of the article. The co-author contribution is 20%.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Селиванов Антон Валерьевич – инженер.

Регер Федор Федорович – канд. с.-х. наук.

Чакурин Иван Алексеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Строительные конструкции».

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anton V. Selivanov – engineer.

Fedor F. Reger – Cand. of Sci.

Ivan A. Chakurin – Cand. of Sci, Associate Professor, Building Structures Department.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ ПО ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Для публикации принимаются рукописи по направлениям: Транспорт. Транспортные и технологические машины; Строительство. Строительные материалы и изделия; Редакция принимает к рассмотрению ***оригинальные научные статьи*** объемом 8–10 стр. машинописного текста через 1 интервал, 5–8 рисунков и (или) таблиц, 20–40 ссылок; ***обзорные статьи*** – (критическое обобщение какой-то исследовательской темы) – от 10 и более страниц, от 5 и более рисунков, до 80 ссылок.

Статья должна быть неопубликованной ранее в других изданиях, написана в контексте современной литературы, обладать новизной и соответствовать профилю журнала. Автор отвечает за достоверность сведений, точность цитирования и ссылок на официальные документы и другие источники. Редакция принимает на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи, сотрудниками редакции, членами редколлегии, а также рецензентами данной работы. В случае обнаружения одновременной подачи рукописи в несколько изданий статья будет ***ретрагирована*** (отозвана из печати).

Следует уделить особенное внимание качеству перевода. Недопустимо при переводе пользоваться машинами-переводчиками. Перевод должен быть выполнен профессиональными переводчиками, а лучше – носителем английского языка. Необходимо учесть, что законодательство охраняет права переводчиков авторским правом наравне с правами авторов оригинальных произведений. Перевод текста – творческий процесс, производный объект авторского права, т.е. переводчик – соавтор нового произведения.

1 УДК. На первой странице, слева в верхнем углу без отступа, указываются индекс по универсальной десятичной классификации (**УДК**) (размер шрифта 10 пт).

2. Заглавие статьи. Заголовок (максимально 10-12 слов) должен быть информативным, лаконичным, соответствовать научному стилю текста, содержать основные ключевые слова, характеризующие тему (предмет) исследования и содержание работы. Приводится на русском и английском языках, по центру полужирным шрифтом размером 12 пт. прописными буквами.

3. Фамилии авторов. Количество авторов не должно превышать четырех. Для англоязычных метаданных важно соблюдать вариант написания сведений об авторе в последовательности: полное имя, инициал отчества, фамилия (Anna V. Ivanova). При латинизации фамилии можно воспользоваться системой 1 BSI – Британский Институт Стандартов (British Standards Institution) транслитерации на сайте http://translit.ru, при этом необходимо выбрать вариант стандарта, например, BSI. Перечень авторов располагается после заголовка статьи обычным шрифтом (размер шрифта 12 пт.).

4. Аннотация. Аннотация включает характеристику основной темы, проблемы объекта, цели исследования, основные методы, результаты исследования и главные выводы. В аннотации необходимо указать, что нового несет в себе научная статья в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению, объем от 200 до 250 слов. Структура аннотации представлена на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Приводится на русском и английском языках. Начинается словом «Аннотация» с прописной буквы (шрифт полужирный, курсив, 10 пт); точка; затем с прописной буквы текст (курсив, 10 пт).

5. Ключевые слова служат ориентиром для читателя и используются для поиска статей в электронных базах, поэтому должны отражать дисциплину (область науки, в рамках которой написана статья), тему, цель и объект исследования.

Рекомендуемое количество ключевых слов − 10–12, количество слов внутри ключевой фразы − не более трех.

Размещаются после аннотации, на русском и английском языках.

6. Благодарности. Раздел включен в требования всеми крупными издательствами. В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам.

7. Основные положения. Отражают ключевые результаты исследования, основное содержание статьи, изложенные тезисно и оформленные в виде 3–5 пунктов маркированного списка.

8. Основной текст статьи излагается на русском или английском языках, в электронном и бумажном виде (шрифт «Arial» (10 пт), отступ первой строки 0,6 см, межстрочный интервал одинарный), в следующей последовательности:

Введение (1−4 стр.) В этом разделе описываются общая тема исследования, цели и задачи планируемой работы, теоретическая и практическая значимость, приводятся наиболее известные и авторитетные публикации по изучаемой теме, обозначаются нерешенные проблемы. Данный раздел должен содержать обоснование необходимости и актуальности исследования. Информация во Введении должна быть организована по принципу «от общего к частному».

Подразделы введения представлены на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Методы и материалы (от 2 стр. и более) В этом разделе в деталях описываются методы, которые использовались для получения результатов. Обычно сначала дается общая схема экспериментов/исследования, затем они представляются настолько подробно и с таким количеством деталей, чтобы любой компетентный специалист мог воспроизвести их, пользуясь лишь текстом статьи. Более подробно содержание раздела представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Результаты. В этом разделе представлены экспериментальные или теоретические данные, полученные в ходе исследования. Результаты даются в обработанном варианте: в виде таблиц, графиков, организационных или структурных диаграмм, уравнений, фотографий, рисунков. В этом разделе приводятся только факты. Если было получено много похожих зависимостей, представляемых в виде графиков, то приведите только один типичный график, а данные об имеющихся количественных отличиях между ними, представьте в таблице.

Способы представления результатов представлена на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Обсуждение и заключение. Раздел содержит интерпретацию полученных результатов исследования, предположения о полученных фактах, сравнение полученных собственных результатов с результатами других авторов. Более подробно содержание раздела представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

9. Библиографический список (References)

В библиографический список включаются только те источники, которые автор использовал при подготовке статьи. Оформление библиографического списка регламентируется ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Ссылаться нужно в первую очередь на оригинальные источники из научных журналов, включенных в глобальные индексы цитирования. Желательно использовать 20–40 источников, но не более 50. Из них за последние 3 года – рекомендуется указать не менее 20, иностранных – не менее 15. Важно правильно оформить ссылку на источник.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Следует указать фамилии авторов, журнал (электронный адрес), год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет.

Источники указываются в конце статьи в алфавитном порядке либо в порядке упоминания в тексте статьи.

Приводится на русском языке и в латинице по образцу, представленному на сайте журнала.

Аффилиация. Фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, ORCID i, Scopus Author ID,ResearcherID, далее указать все места работы, должность, название организации, служебный адрес, электронная почта, телефон, e-mail.

Приводится на русском и английском языках.

Технические требования к оформлению.

Формат А4, шрифт Arial (10 пт), отступ первой строки 0,6 см, межстрочный интервал одинарный.

Поля: верхнее – 3,5 см, остальные – по 2,5.

Все сокращения при первом употреблении должны быть полностью расшифрованы, за исключением общепринятых терминов и математических величин.

Формулы необходимо набирать в редакторе формул Microsoft Equation. Перенос формул допускаются на знаках «плюс» и «минус», реже – на знаке «умножение». Эти знаки повторяются в начале и в конце переноса. Формулы следует нумеровать (нумерация сквозная по всей работе арабскими цифрами). Номер формулы заключают в круглые скобки у правого края страницы.

Рисунки, схемы и графики предоставляются в электронном виде включенными в текст, в стандартных графических форматах с обязательной подрисуночной 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 – подрисуночные 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. Корректура статей авторам не высылается, тем не менее вопросы, возникающие в процессе редактирования высылаются авторам для согласования.

Окончательный вариант макета статьи высылается по электронной почте автору на утверждение. На рассмотрение отводится три дня, по истечении которых в случае неполучения ответа от автора, макет автоматически считается автором одобренным и в представленном виде направляется в печать.

Публикация. Подготовленный к публикации макет тиражируется в типографии СибАДИ и размещается на сайте журнала в открытом бесплатном доступе. Публикация всех статей одного выпуска осуществляется единой датой.

Метаданные опубликованных статей выпуска регистрируются в РИНЦ, размещаются в библиографических сервисах и базах данных в сроки, установленные соответствующими договорами, распространяются по подписке.

© 2004–2022 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal