



научный рецензируемый журнал

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

“Vestnik SibADI”

Том 16, № 1. 2019
Сквозной номер выпуска – 65

Vol. 16, no. 1. 2019
Continuous issue – 65

наука
science

creation
творчество

образование
education

innovations
инновации

technology
технологии

tradition
традиции

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

ВЕСТНИК СИБАДИ

THE RUSSIAN AUTOMOBILE AND HIGHWAY INDUSTRY JOURNAL

Том 16, № 1. 2019. Сквозной номер выпуска – 65
Vol. 16, no. 1. 2019. Continuous issue – 65

Омск – 2019

Главный редактор **Жигадло А.П.**, д-р пед. наук, канд. техн. наук, доц., член-кор. АН, ректор ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Editor-in-Chief, **Zhigadlo A.P.**, Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of Academy of Military Science, Rector of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Транспортное, горное и строительное машиностроение

Галдин Н.С., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Корытов М.С., д-р техн. наук, доц., проф. ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Транспорт

Певнев Н.Г., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Витвицкий Е.Е., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Строительство и архитектура

Сиротюк В.В., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Чулкова И.Л., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Корчагин П.А., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Щербakov В.С., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Винников Ю.Л., д-р техн. наук, проф., Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина

Горынин Г.Л., д-р физ.-мат. наук, проф., ФГБОУ ВО «СурГУХМАО-ЮГРЫ», г. Сургут, Россия

Данилов Б.Б., д-р техн. наук, Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Россия.

Жусупбеков А.Ж., д-р техн. наук, проф., член-кор. Национальной инженерной академии Республики Казахстан, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан.

Макеев С.А., д-р техн. проф. наук ФГБОУ ВО «СибАДИ» г. Омск, Россия

Мещеряков В.А., д-техн. наук, доц., проф. ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Мочалин С.М., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Немировский Ю.В., 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

Перебуд Я.А. д-р экон. наук, проя. Высшая школа экономики в Варшаве (SGH), г. Варшава, Польша

Подшивалов В.П., д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Пономарев А.Б., д-р техн. наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия.

Хмара Л.А., д-р техн. наук, проф., Приднепровская государственная академия Строительства и Архитектуры, г. Днепрпетровск, Украина

Эдвин Козневски, д-р техн. наук, проф., г. Белосток, Польша

Боброва Т.В., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Леонович С.Н., д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

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

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

EDITORIAL BOARD

Transport, mining and mechanical engineering

Galdin N.S., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Korytov N.S., Doctor of Science, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Transport

Pevnev N.G., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Vitvitskiy E.E., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Construction and architecture

Sirotyuk V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Chulkova I.L., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

MAIN EDITORIAL BOARD

Korchagin P. A., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Shcherbakov V.S., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Vinnikov Yu. L., Doctor of Technical Sciences, Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk, Poltava, Ukraine

Gorynin G. L., Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor of the «SurGUKMAO-Yugra», Surgut, Russia

Danilov B. B., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mining and Construction Geotechnics, Mining Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Zhusupbekov A.Zh., Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, ENU named aft eLr. N. Gumilev, Astana, Kazakhstan

Makeev S.A., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Meshcheryakov V.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Mochalin S.M., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Nemirovsky Yu.V., Doctor of Phys.-Math. Sciences, 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

Peregood Ya.A. Doctor of Economics, Professor, Higher School of Economics in Warsaw, Warsaw, Poland

Podshivalov V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus

Ponomarev A. B., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction Production and Geotechnics, Perm National Research Technical University, Perm, Russia

Khmara L.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Pridneprovskaya State Academy of Construction and Architecture, Dnepropetrovsk, UkraineEdwin Koźniewski, Doctor of Science, Professor, Białystok, Poland

Edwin Koźniewski, Doctor of Technical Sciences, Professor, Białystok, Poland

Bobrova T.V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Leonovich S.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Якунин Н.Н., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия

Ефименко В.Н., д-р техн. наук, проф., Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия

Якунина Н.В., д-р техн. наук, доц., проф., ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия

Корнеев С.В., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «ОмГТУ», г. Омск, Россия

Боровик В.С., д-р техн. наук, проф., Волгоградский научно-технический центр, г. Волгоград, Россия

Коротаев Д.Н., д-р техн. наук, доц., проф. ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Лесовик В.С., д-р техн. наук, проф., член-кор. РААСН, БГТУ им. Шухова, г. Белгород, Россия

Савельев С.В., д-р техн. наук, доц., проф. ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Корягин М.Е., д-р техн. наук, доц., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», г. Новосибирск, Россия

Рассоха В.И., д-р техн. наук, доц., проф., ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия

Кондратенко А.С., канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС)», ИГД СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Маткеримов Т.Ы., д-р техн. наук, проф., КГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек, Киргизская Республика

Курганов В.М., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь, Россия

Матвеев С.А., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

Зырянов В. В. д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Организация перевозок и дорожного движения» Донского государственного технического университета, г. Ростов-на-Дону.

Трофименко Ю.В. д-р техн. наук, проф., Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ) г. Москва, Россия

Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф., Директор Политехнического института имени Н.Н. Поликарпова ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева» г. Орел, Россия

Чекардовский М. Н. д-р техн. наук, проф. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Россия

Ваклав Скала, профессор University of West Bohemia, г. Пльзень, Чехия

Хомченко В.Г., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «ОмГТУ», г. Омск, Россия

Gumarov G.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Member-cor. of the Russian Academy of Natural History, Eurasian National University named after L.N. Gumilev, Astana, Republic of Kazakhstan

Sharshembiev Zh.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Scriabin, Bishkek, Kyrgyz Republic

Yakunin N.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia

Efimenko V.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia

Yakunina N.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia

Korneev S.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Omsk State Technical University, Omsk, Russia

Borovik V.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd Science and Technology Center, Volgograd, Russia

Korotaev D.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Lesovik V.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Member-cor. of RAASN, BSTU named after Shukhov, Belgorod, Russia

Saveliev S.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Koryagin M.E., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russia

Rassokha V.I., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia

Kondratenko A.S., Candidate of Technical Sciences, Siberian State University of Railway Transport (SGUPS), IGD SB RAS, Novosibirsk, Russia

Matkerimov T.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, KSTU named after I. Razzakova, Bishkek, Kyrgyz Republic

Kurganov V.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Tver State University, Tver, Russia

Matveev S.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

Zyryanov Vladimir V. Doctor of Technical Sciences, Professor, Don State Technical University, Rostov-na-Donu

Trofimenko Yu. V. Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) Moscow, Russia

Novikov A. N. Doctor of Technical Sciences, Professor, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

Václav Skala, Professor of University of West Bohemia, Plzen, Czech Republic

Khomchenko V.G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Omsk State Technical University, Omsk, Russia

Адрес издателя: 644080, г. Омск, просп. Мира. 5. Тел. +7 (3812) 65-88-30; режим доступа: vestnik.sibadi.org; e-mail: vestnik_sibadi@sibadi.org

Учредитель ФГБОУ ВО «СибАДИ». Адрес учредителя: 644080, г. Омск, просп. Мира. 5.

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 года.

Научный рецензируемый журнал Вестник СибАДИ / The Russian Automobile and Highway Industry Journal 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 2009 года представлен в научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU и включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Входит в международный каталог Ulrich's International Periodicals Directory. Подписной индекс 66000 в каталоге (АО Агентства "РОСПЕЧАТЬ). С 2017 г. всем номерам и статьям журнала присваиваются цифровые идентификаторы объектов (DOI), данные о которых размещены в электронной версии на сайте vestnik.sibadi.org. Редакционный блок осуществляет экспертную оценку, рецензирование и проверку статей на плагиат.

Подписано в печать 22.02.2019. Дата выхода в свет 28.02.2019. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Arial. Печать оперативная.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 27,25 Тираж 500 экз. Заказ 500 экземпляров. Свободная цена. Отпечатано в типографии ИПК ФГБОУ ВО «СибАДИ» 644080, г. Омск, пр. Мира, 5.

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2019

РАЗДЕЛ I.

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

С.Д. Игнатов, С.И. Цеховш

УПРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЩЁТОЧНОГО ВОРСА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ КОММУНАЛЬНОЙ МАШИНЫ.....	6
--	---

Д.А. Потахов, Я.С. Ватулин

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ УТЕЧЕК РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ РАДИАЛЬНЫЙ ЗАЗОР СОПРЯЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОЦИЛИНДРА ВЫВЕШИВАНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО КРАНА	18
--	----

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

Б.У. Акунов, К.Дж. Касымбеков

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ВО ВПУСКНОМ КОЛЛЕКТОРЕ ДВИГАТЕЛЯ НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ИМПУЛЬСА ОТКРЫТИЯ ФОРСУНКИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ	32
--	----

Ч.Д. Шавыраа, С.В. Балзанай

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОБНОВЛЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В МАЛОМ ГОРОДЕ (НА ПРИМЕРЕ ПАТП).....	40
--	----

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Е.А. Бедрин, Е.А. Бедрина

КОНКУРЕНТНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ УКРЕПЛЕННЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД.....	52
--	----

В.И. Сологеев

РЕШЕНИЕ ОПЕРАТОРНЫМ МЕТОДОМ ЗАДАЧ ЗАЩИТЫ ОТ ПОДТОПЛЕНИЯ В ГОРОДСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	62
--	----

В.А. Уткин, П.Н. Кобзев

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМ ПЛИТНО-РЕБРИСТЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ИЗ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ	76
--	----

PART I. TRANSPORT, MINING AND MECHANICAL ENGINEERING

S.D. Ignatov, S.I. Tsekhosh

ELASTIC CHARACTERISTICS OF BRUSH PILE ON THE MUNICIPAL MACHINE WORKING EQUIPMENT	7
---	---

D.A. Potakhov, Y.S. Vatulin

NUMERICAL CALCULATION OF THE HYDRO-LIQUID LEAKAGE THROUGH THE RADIAL CLEARANCE OF THE CONNECTED ELEMENTS ON THE TOWER CRANE HYDROCILINDER	19
--	----

PART II. TRANSPORT

B.U. Akunov, K.Dj. Kasymbekov

INFLUENCE OF AIR TEMPERATURE ON DURATION OF IMPULSE OPENING SPRAY IN THE ENGINE INTAKE MANIFOLD WHILE CAR OPERATION IN VARIOUS CONDITIONS	33
--	----

C. Shavyraa, S. Balzanay

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR UPDATING THE ROLLING-STOCK IN A SMALL CITY (USING THE PASSENGER MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE (PMTE) AS AN EXAMPLE)	41
---	----

PART III. CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

E.A. Bedrin, E.A. Bedrina

COMPETITIVE ADVANTAGES OF INNOVATIVE MATERIALS WHILE THE CONSTRUCTION OF ROAD BASE STRENGTHENED LAYERS	53
---	----

V.I. Sologaeu

SOLVING THE PROBLEMS OF THE SUBMERGENCE IN URBAN CONSTRUCTION SPHERE.....	63
---	----

V.A. Utkin, P.N. Kobzev

ON PERFECTION OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL FORMS OF PLATE AND RIBBED TRANSFER STRUCTURES FROM GLUED TIMBER	77
--	----

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

УДК 625.768.1: 621.22: 62-25

УПРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЩЁТОЧНОГО ВОРСА РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ КОММУНАЛЬНОЙ МАШИНЫ

С.Д. Игнатов, С.И. Цехош*
ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия
* tsehosh.lyubov@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Статья посвящена актуальной проблеме увеличения эксплуатационного ресурса щеточного рабочего органа (ЩРО) и повышения качества уборки. В работе рассмотрены факторы, влияющие на качество уборки дорожного покрытия и ресурс щеточного ворса.

Методы и материалы. Представлены результаты исследования процесса взаимодействия ворса ЩРО с очищаемой поверхностью дорожного полотна. Дана математическая модель процесса взаимодействия ходового и рабочего оборудования с опорной поверхностью. Моделирование осуществлялось при помощи программного продукта MATLAB, расширение Simulink. Выявлены факторы, которые способствуют снижению эффективности рабочего процесса коммунальной машины.

Результаты. В результате моделирования были получены графики изменения деформации ворса и силы прижатия ЩРО к очищаемой поверхности во времени. При обработке полученных экспериментальных данных были построены графики зависимостей деформации щеточного ворса от силы прижатия ЩРО в сборе и для двух, трех, четырех дисков. Для дальнейшего математического моделирования определены коэффициенты жесткости ворса ЩРО при различных нагрузках. Осуществлена аппроксимация экспериментальной зависимости деформации щеточного ворса от силы прижатия, получено уравнение регрессии.

Заключение. В результате выполненной работы определены упругие характеристики ворса ЩРО. В процессе сравнения экспериментальных и теоретических данных, полученных в результате анализа математической модели, установлено, что расхождения между ними менее 10%. Данные результаты позволили подтвердить адекватность математической модели процесса взаимодействия ЩРО с очищаемой поверхностью.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: щеточный рабочий орган, щеточные диски, ворс, сила прижатия, коэффициент жесткости, деформация.

© С.Д. Игнатов, С.И. Цехош



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ELASTIC CHARACTERISTICS OF BRUSH PILE ON THE MUNICIPAL MACHINE WORKING EQUIPMENT

S.D. Ignatov, S.I. Tsekhosh*,

Siberian State Automobile and Highway University,
Omsk, Russia

* tsekhosh.lyubov@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. The paper describes the actual problem of increasing the operating life of the brush working body (BWB) and improving the cleaning quality. Moreover, the authors discuss the factors affecting the quality of the road surface cleaning and the brush pile resource.

Materials and methods. The research presents the results of the interaction process of the BWB pile with the cleaned surface of the roadway. In addition, the authors demonstrate the mathematical model of the interaction process with the basic surface. The simulation is carried out using the MATLAB software and Simulink extension. The authors also identify the factors that contribute the efficiency reduction of the municipal machine working process.

Results. As a result of the simulation, the authors obtained the graphs of the pile deformation changing and the BWB pressing force changing. When processing the experimental data the researches also obtained the graphs of the brush pile plotted deformation from the BWB contact force and from 2, 3, 4 disks. For further mathematical modeling the authors determined the stiffness of the BWB pile under various loads. Therefore, the paper presents the approximation of the experimental dependence of the brush pile deformation on the pressing force and shows the regression equation.

Conclusion. In conclusion, the authors determined the elastic characteristics of the BWB pile. By the comparing process of the experimental and theoretical data obtained from the mathematical model analysis, the authors found that the difference between them was less than 10%. The obtained results allowed confirming the mathematical model adequacy of the interaction process between the BWB pile and the cleaning surface.

KEYWORDS: brush working body (BWB), brush disks, pile, pressing force, stiffness coefficient, deformation.

© S.D. Ignatov, S.I. Tsekhosh



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

ВВЕДЕНИЕ

Во время проведения дорожно-уборочных работ движение коммунальных машин по опорной поверхности происходит под воздействием многочисленных внешних факторов, влияющих на рабочий процесс, например неровности рельефа, степень загрязнения поверхности и т.п. Неровность опорных поверхностей является основным источником неуправляемых колебаний машины, амплитуды и ускорения которых достигают значительных величин. Перечисленные факторы оказывают негативное влияние на рабочий процесс коммунальной машины и могут стать причиной значительных экономических потерь [1,2,3]¹. Актуальность проблемы обусловлена повышением износа ворса ЩРО из-за неуправляемых перемещений рабочего органа, вызванных воздействиями микрорельефа очищаемой поверхности на ходовое оборудование. Целью данной статьи является определение коэффициентов жесткости ворса ЩРО при различных нагрузках. Эти коэффициенты в дальнейшем будут использованы при подтверждении адекватности математической модели рабочего процесса коммунальной машины.

Задачи исследования:

1. Экспериментально установить значения параметров, характеризующих упругие свойства ворса ЩРО.
2. Получить экспериментальные зависимости деформации щётчного ворса от силы прижатия ЩРО к очищаемой поверхности.
3. Определить упругие характеристики ворса ЩРО.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Одной из наиболее распространенных коммунальных машин в настоящее время является подметально-уборочная, оборудованная ЩРО. Основной задачей этой машины является уборка различных поверхностей (асфальтированных и бетонных дорог, дворовых территорий и др.) от загрязнений различного рода.

Анализ предыдущих исследований показал, что эффективность рабочего процесса подметально-уборочных машин в значительной степени зависит от таких факторов, как состояние ворса ЩРО и величина силы прижатия ЩРО к очищаемой поверхности [4,5,6]. В первом приближении может показаться, что повысить эффективность уборочного процесса можно за счет увеличения силы прижатия. Однако этот способ позволит добиться лишь временного повышения эффективности коммунальной машины вследствие того, что избыточное увеличение силы прижатия приведет к повышенному износу ворса ЩРО и, как следствие, в скором времени к неравномерной очистке поверхности.

Для достижения максимального эффекта от уборки необходимо обеспечить оптимальную силу прижатия ЩРО к очищаемой поверхности, причем с учетом типа ворса и материала, из которого он изготовлен.

Сила прижатия ЩРО к очищаемой поверхности описывается выражением [7]

$$F = 0,17 \cdot E \cdot J \cdot \frac{S^6}{Y_K^8} \cdot i_{\text{щ}} \cdot \arccos\left(\frac{Y_K + R_b}{R_b}\right), \quad (1)$$

где F – сила прижатия; E – модуль упругости ворса (для стального прутка $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа; для синтетического ворса $E=7,1 \dots 8 \cdot 10^3$ МПа; J – момент инерции поперечного сечения прутка относительно оси, перпендикулярной плоскости вращения, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; R_b – радиус барабана цилиндрической щетки, на которой крепится ворс; $i_{\text{щ}}$ – общее число ворса в цилиндрической щетке [9].

$$Y_K = S - h, \quad (2)$$

¹ Лепеш Г.В., Иванова Е.С. Расчет характеристик трения в задачах анализа внутрибаллистических процессов. / Вторые Окуневские чтения // Сборник трудов международной научно-практической конференции. С-Петербург: БГТУ. 2001. С. 56–67.

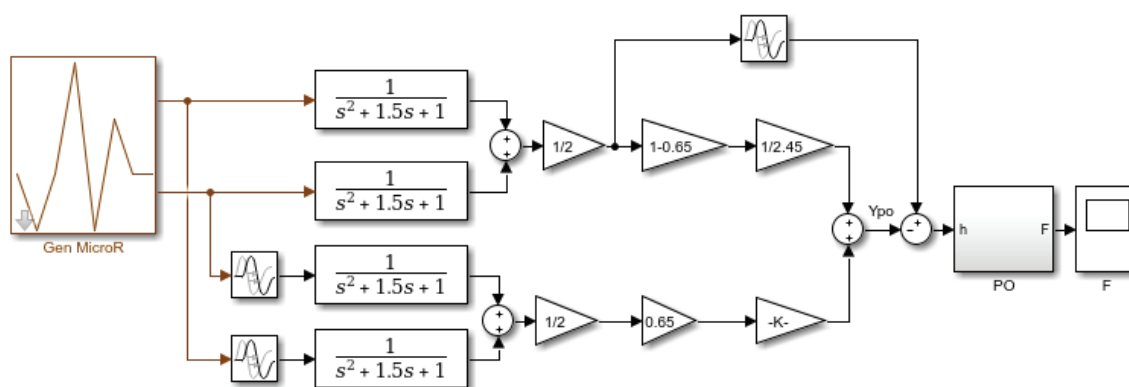


Рисунок 1 – Структурная схема математической модели процесса неуправляемого изменения вертикальной координаты ЩРО

Figure 1 – Structural diagram of the mathematical model of the unmanaged changing process in the BWB vertical coordinate

где Y_k – расстояние между ободом барабана и поверхностью дороги; S – свободная длина прутка ворса, м; h – деформация ворса щетки, м. Уравнение приведено для цилиндрической щетки с синтетическим ворсом.

Взаимодействие микрорельефа с ходовым оборудованием, а также уравнения геометрических связей элементов машины описаны в предшествующих работах [10]. На рисунке 1 представлена структурная схема математической модели процесса неуправляемого изменения вертикальной координаты ЩРО из-за воздействия микрорельефа очищаемой поверхности на ходовое оборудование коммунальной машины [11, 12]^{2, 3, 4}.

Особенность рабочего процесса подметально-уборочной машины состоит во взаимодействии ворса ЩРО с очищаемой поверхностью (рисунок 2) [13,14]. Если неровности на очищаемой поверхности отсутствуют, то контакт ворса с ней по всей длине ЩРО постоянный, сила прижатия ЩРО не изменяется, так же как и деформация [15, 16]. В том случае, если под осью ЩРО появляется возвышенность, ворс в

разной степени деформируется, сила прижатия при этом увеличивается, собственно как и износ контактного участка [17,18]. Если же под осью ЩРО появляется выбоина, ворсинки моментально выпрямляются, деформация становится нулевой (без учета остаточной деформации), так же как и сила прижима. Вследствие этого загрязнения в выбоинах остаются неубранными, что снижает эффективность рабочего процесса.

Для составления адекватной математической модели рабочего процесса подметально-уборочной машины необходимо экспериментально установить значения параметров, характеризующих упругие свойства ворса ЩРО.

Объектом эксперимента являлся ЩРО подметально-уборочной машины на базе трактора МТЗ-82.1. Эксперимент был проведен в статике [19]. Перед началом эксперимента были сняты опорные катки с ЩРО трактора МТЗ-82.1. На рисунке 3 представлена экспериментальная площадка.

² Доценко А.И. Коммунальные машины и оборудование: учебное пособие для вузов. М.: Архитектура. 2005. 344 С.

³ Тетерина И.А., Летопольский А.Б. Модель процесса взаимодействия элементов ходового оборудования дорожной уборочно-подметальной машины с неровностями микрорельефа // Наука сегодня: задачи и пути их решения: Международная научно-практическая конференция. Вологда: Маркер, 2016. С.37 – 38.

⁴ Тетерина И.А., Летопольский А.Б. Модель взаимодействия ЩРО с обрабатываемой поверхностью // Наука XXI века: открытия, инновации, технологии: Международная научно-практическая заочная конференция. Смоленск: НОВОЛЕНКО, 2016. С. 73–75.

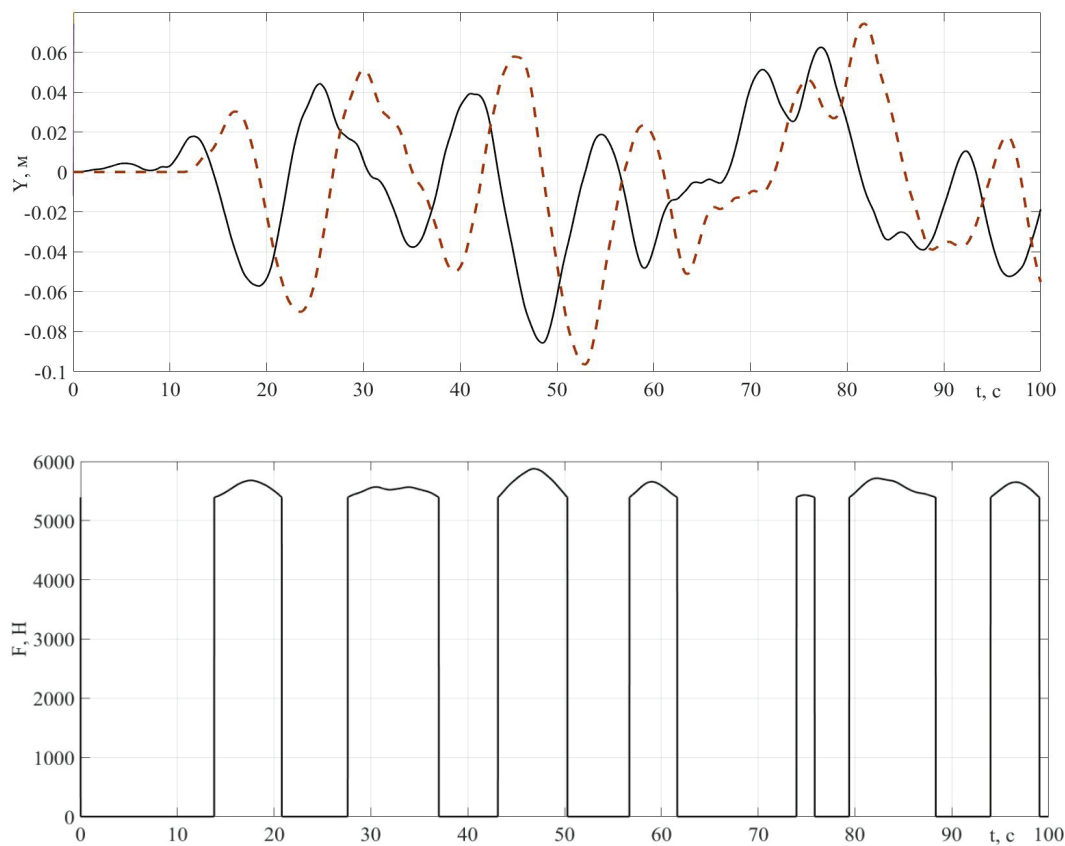


Рисунок 2 – Графики зависимостей вертикальных координат (а) и силы прижатия ЩРО к очищаемой поверхности (б) от времени работы
1– вертикальная координата ЩРО, 2 – вертикальная координата очищаемой поверхности

Figure 2 – Graphs of dependencies of the vertical coordinates (a) and the BWB pressing force to the cleaning surface (b) from the working period; 1 – BWB vertical coordinate, 2 – cleaning surface vertical coordinate

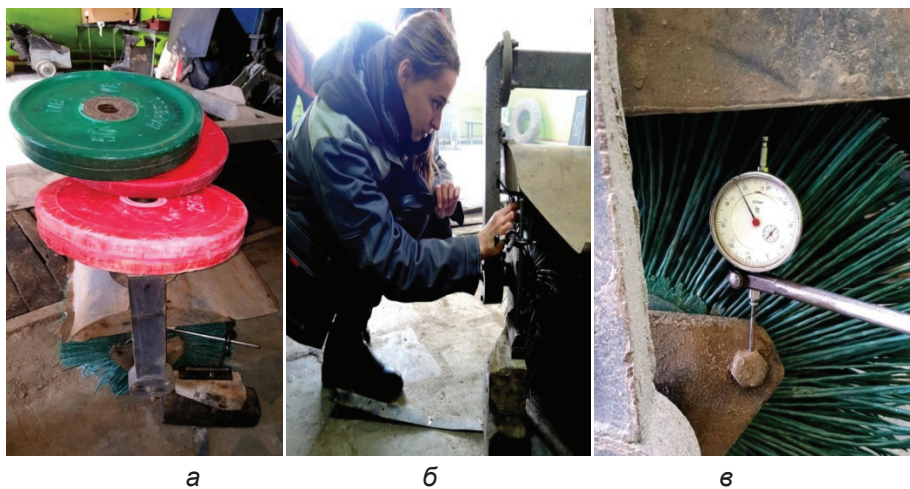


Рисунок 3 – Экспериментальная площадка
а – щёточный рабочий орган, пригруженный тарированным грузом;
б, в – измерение деформации щёточного ворса при помощи индикатора часового типа

Figure 3 – Experimental plant: a – brush working body, loaded with calibrated cargo; b, c – measurements of the BWB deformation using a dial gauge

При проведении эксперимента было использовано следующее оборудование: тарированные грузы, индикатор часового типа. После очередного пригруза ЩРО тарированным грузом определялась вертикальная координата контрольной точки на раме ЩРО, что позволяло судить о величине деформации ворса.

Масса пригруза изменялась в диапазоне от 25 до 225 кг, вследствие чего наблюдалась деформация щёточного ворса от 0,4 до 8,3 мм. Данные представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1
Результаты эксперимента №1
TABLE 1
No. 1 experiment's results

Количество дисков ЩРО	m , кг	F , Н	h , мм	ΔF , Н	Δh , мм	C , Н/мм
46	0	0	0	0	0	0
	25	245,25	0,4	245,25	0,4	613,1
	50	490,5	1	245,25	0,6	408,8
	75	735,75	1,5	245,25	0,5	490,5
	100	981	2	245,25	0,5	490,5
	125	1226,3	2,8	245,25	0,8	306,6
	175	1716,8	5,8	490,5	3	163,5
	225	2207,3	8,3	490,5	3,5	140,1

Полученные в результате эксперимента данные позволили определить статическую упругую характеристику ЩРО.

В результате обработки полученных экспериментальных данных был построен график зависимости деформации щёточного ворса от силы прижатия (рисунок 4).

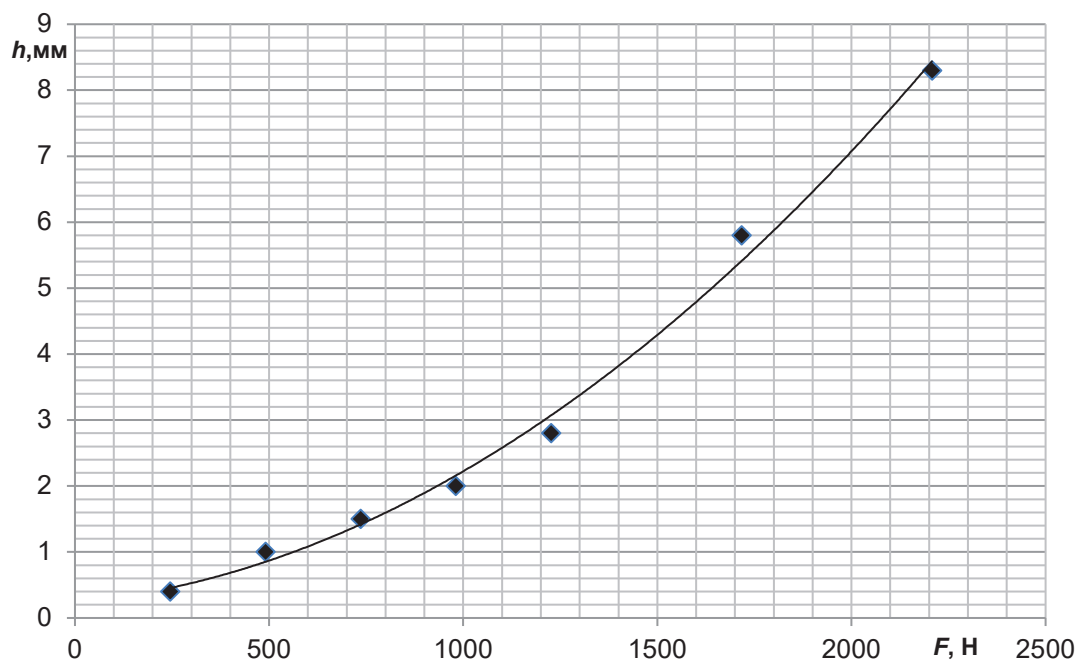


Рисунок 4 – Экспериментальная зависимость $h = f(F)$ и её аппроксимация

Figure 4 – Experimental $h = f(F)$ dependence and its approximation

Экспериментальная зависимость деформации щётчного ворса от силы была аппроксимирована следующим уравнением регрессии

$$h = 0,000001 \cdot F^2 + 0,0006 \cdot F + 0,2309 \quad (3)$$

Коэффициент детерминации при этом $R^2 = 0,994$.

В дальнейшем коэффициент жесткости был определен по формуле

$$C = \frac{\Delta F}{\Delta h}, \quad (4)$$

где C – коэффициент жесткости дисков щётчного рабочего органа, Н/мм; ΔF – приращение силы, Н; Δh – приращение деформации, мм. По данным таблицы 1 был построен график зависимости коэффициента жесткости от деформации ворса ЩРО (рисунок 5).

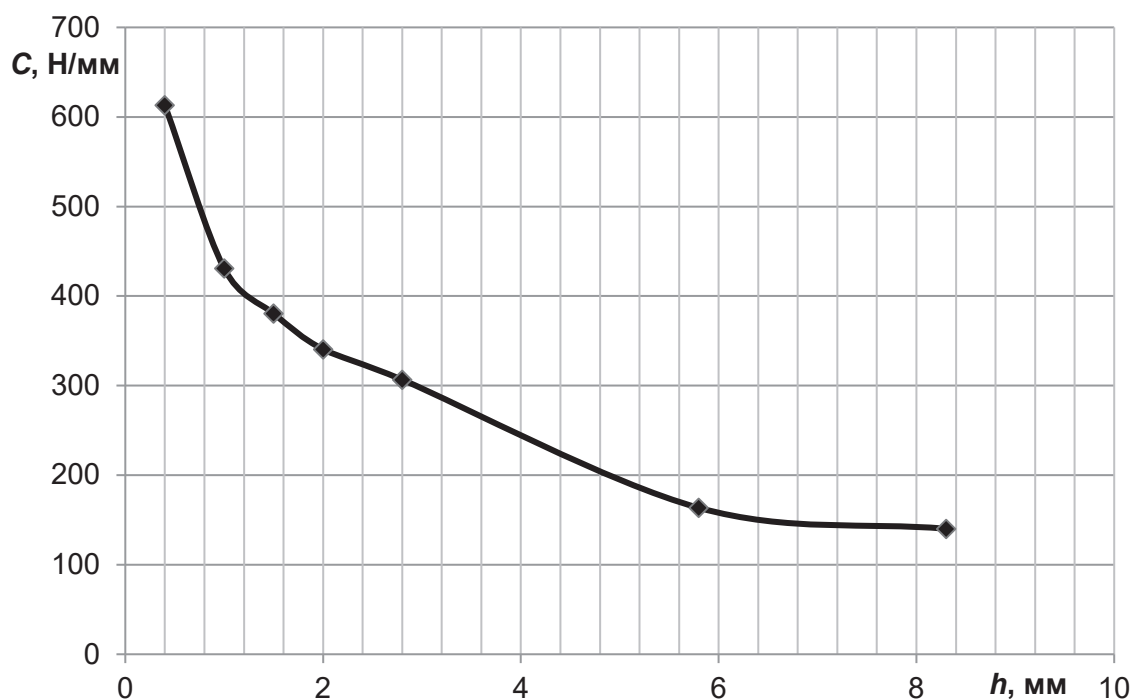


Рисунок 5 – Экспериментальная зависимость $C=f(h)$

Figure 5 – Experimental $C = f(h)$ dependence

Так как в разных конструкциях ЩРО используется разное количество ворсовых дисков, было принято решение провести эксперимент с разным количеством дисков.

Пригруз дисков осуществлялся в диапазо-

не от 0 до 20 кг. Полученные в результате эксперимента данные позволили определить статическую упругую характеристику ворсовых дисков. Данные занесены в таблицу 2.

ТАБЛИЦА 2
Результаты эксперимента №2
TABLE 2
No. 2 experiment's results

Количество ворсовых дисков	m , кг	F , Н	h , мм	ΔF , Н	Δh , мм	C , Н/мм
4	0	0	0	0	0	0
	10	98,1	1,04	98,1	1,04	94,3
	12,5	122,63	2,01	24,53	0,97	25,3
	15	147,15	2,84	24,52	0,83	29,5
	17,5	171,68	3,44	24,53	0,6	40,9
	20	196,2	3,75	24,52	0,31	79,1
3	0	0	0	0	0	0,0
	10	98,1	1,66	98,1	1,66	59,1
	12,5	122,63	3,82	24,53	2,16	11,4
	15	147,15	5,72	24,52	1,9	12,9
	17,5	171,68	6,8	24,53	1,08	22,7
	20	196,2	7,02	24,52	0,22	111,5
2	0	0	0	0	0	0,0
	10	98,1	0,56	98,1	0,56	175,2
	12,5	122,63	1	24,53	0,44	55,8
	15	147,15	2	24,52	1	24,5
	17,5	171,68	4	24,53	2	12,3
	20	196,2	8,5	24,52	4,5	5,4

В результате обработки экспериментальных данных для разного количества дисков были построены графики зависимости деформации щётчного ворса от силы прижатия (рисунок 6).

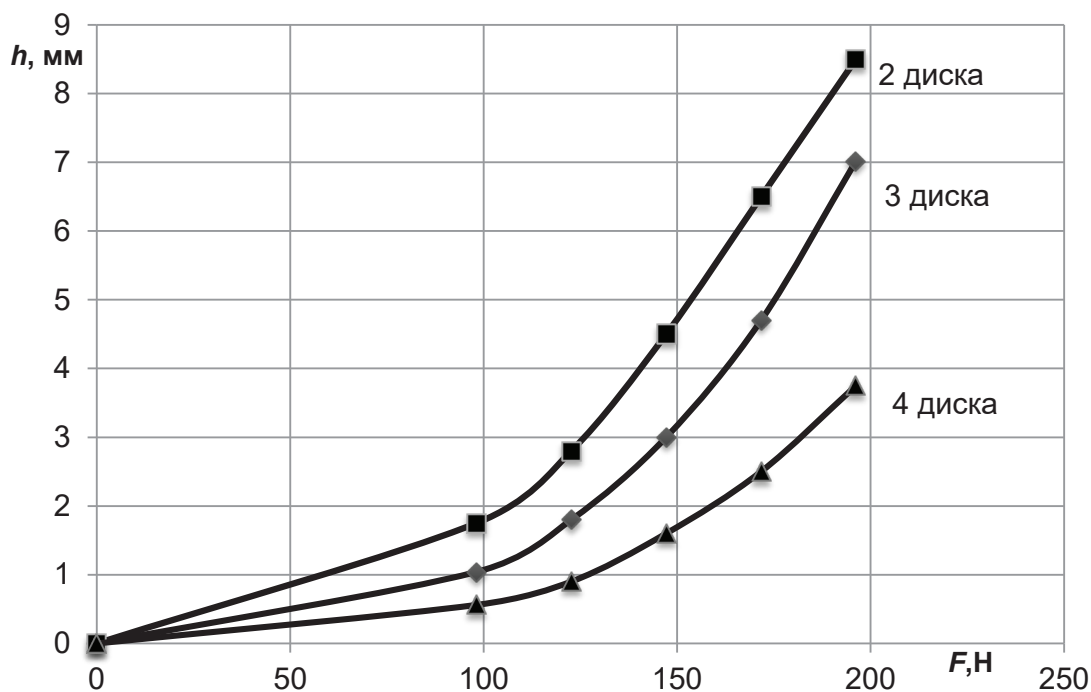


Рисунок 6 – Экспериментальная зависимость $h=f(F)$

Figure 6 - Experimental $h = f(F)$ dependence

Кроме того, был построен график зависимости коэффициента жесткости от деформации вorsa щётчных дисков (рисунок 7).

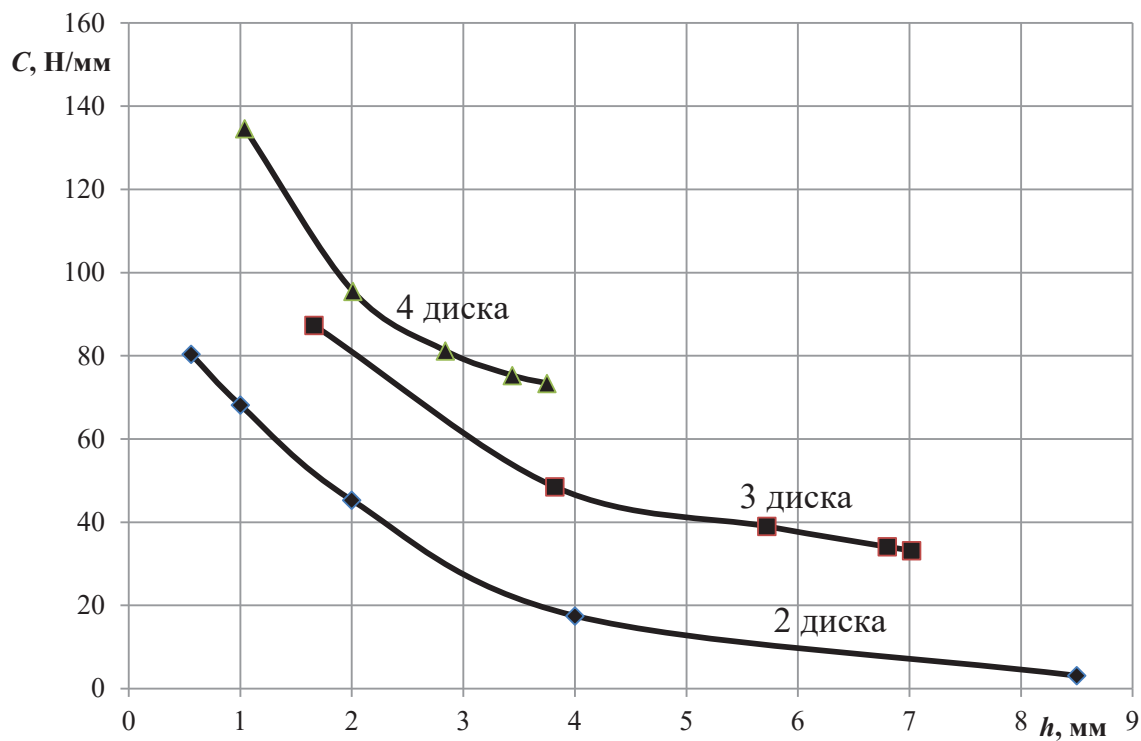


Рисунок 7 – Экспериментальная зависимость $C=f(h)$

Figure 7 – Experimental $C = f(h)$ dependence

Новизна заключается в выявленных экспериментальных зависимостях деформации ворса от силы прижатия как ЩРО в сборе, так и для двух, трех и четырех дисков. Были определены коэффициенты жесткости ворса ЩРО при различных нагрузках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной работы экспериментально установлены значения параметров, характеризующих упругие свойства ворса ЩРО. Получены экспериментальные зависимости деформации щеточного ворса от силы прижатия ЩРО к очищаемой поверхности. Определены характеристики ворса ЩРО. Эти данные необходимы для составления математической модели рабочего процесса коммунальной машины и подтверждения ее адекватности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лепеш А.Г. Функционирование и ресурс щеток коммунальной уборочной техники // Вестник Российской академии естественных наук. 2011. вып. 15 №4. 128–130 с.
2. Лепеш А.Г. Прогнозирование изнашивания щеток коммунальных машин // Техника-технологические проблемы сервиса. 2010. № 2(12). С. 25–34.
3. Лепеш А.Г., Лепеш Г.В., Воронцов И.И. Методика экспериментального определения износостойкости щеточного ворса коммунальной уборочной техники // Техника-технологические проблемы сервиса. 2011. №2(16). С. 6–18.
4. Ершов В.И., Барахтанов Л.В. Вероятностные характеристики микропрофиля пересеченной местности. М: Машиностроение. 1971. №4. С.117–119.
5. Афанасьев В.Л., Хачарутов А.А. Статистические характеристики микропрофилей автомобильных дорог и колебаний автомобиля // Автомобильная промышленность. 1996. № 2. С. 21–23.
6. Куксов М.П., Нижегородов А.И. К построению математической модели рабочего процесса подметально-уборочной машины // Вестник ИрГТУ. 2013. № 12. С. 88–91.
7. Куксов М.П. Определение рациональных режимов работы малогабаритной коммунальной машины для летнего содержания дворовых территорий с использованием математического моделирования // Вестник ИрГТУ. 2015. №3. С. 44–48.
8. Лепеш Г.В., Лепеш А.Г. К вопросу эффективности щеточных агрегатов коммунальной

уборочной техники // Техника-технологические проблемы сервиса. 2013. № 3(25). С. 43–47.

9. Лепеш Г.В. Имитационное моделирование процесса высокоскоростного трения и изнашивания // Техника-технологические проблемы сервиса. 2013. № 3(25). С. 35–42.

10. Лепеш Г.В., Лепеш А.Г. Разработка методики рационального выбора характеристик рабочего процесса коммунальной уборочной техники // Техника-технологические проблемы сервиса. 2012. № 1 (19). С. 24–31.

11. Игнатов С.Д., Цехош С.И. Совершенствование системы управления коммунальной машины // Вестник СибАДИ. 2018. вып. 15 №2. С. 207–216.

12. Корчагин П.А. Математическая модель динамической системы // Вестник СибАДИ. 2013. №4. С. 91–95.

13. Паненко В.В., Математические методы планирования эксперимента: сборник трудов. Новосибирск: Наука, 1981. 257 с.

14. Корчагин П.А., Тетерина И.А. Математическая модель сложной динамической системы «возмущающие воздействия машина - оператор» // Вестник СибАДИ. 2015. №5. С.118–123.

15. Лепеш А.Г. Научные основы повышения производительности подметальных агрегатов коммунальных машин // Инновации. 2011. № 6. С. 136–139.

16. Лепеш А.Г., Лепеш Г.В. Математическое моделирование силового взаимодействия щеток коммунальных машин с дорожным покрытием // Техника-технологические проблемы сервиса. 2010. №3(13). С. 32–38.

17. Лепеш А.Г. К определению силового взаимодействия щеток коммунальных машин с дорожным покрытием // Техника-технологические проблемы сервиса. 2011. №1(15). С.30–35.

18. Лепеш А.Г. Имитационное моделирование рабочего процесса коммунальной уборочной техники // Техника-технологические проблемы сервиса. 2011. №3(17). С.32–41.

19. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1971. 247 с.

REFERENCES

1. Lepesh A.G. Funkcionirovanie i resurs shchetok kommunal'noj uborochnoj tekhniki [Functioning and resource utility brushes cleaning equipment]. *Vestnik Rossijskoj akademii estestvennyh nauk*, 2011, no 4, pp.128–130 (in Russian).

2. Lepesh A.G. Prognozirovanie iznashivaniya shchetok kommunal'nyh mashin [Predicting the wear of municipal machine brushes]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2010, no 2, pp. 25–34 (in Russian).

3. Lepesh A.G., Lepesh G.V., Voroncov I.I. Metodika ehksperimental'nogo opredeleniya iznosostojkosti shchetochного vorsa kommunal'noj uborochnoj tekhniki [Method of experimental determination of wear resistance of brush pile of municipal cleaning equipment]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2011, no 2, pp. 6–18 (in Russian).

4. Ershov V.I., Barakhtanov L.V. *Eroyatnostnye harakteristiki-mikroprofilya-peresechennoj mestnosti* [Probability characteristics of the white-rough terrain]. Moscow, Mechanical Engineering. 1971. pp.117–119 p (in Russian).

5. Afanasev V.L. Sticheskie harakteristiki mikroprofilej avtomobil'nyh dorog i kolebanij avtomobilya [Static characteristics of micro roads and automobile vibrations]. *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 1996, no 2, pp. 21–23 (in Russian).

6. Kuksov M.P. K postroeniyu matematicheskoy modeli rabocheго processa podmetalno-uborochnoj mashiny [Construction of the mathematical model of the sweeper working process]. *Vestnik ISTU*, 2013, no12, pp. 88–91 (in Russian).

7. Kuksov M.P. Opredelenie racionalnyh rezhimov raboty malogabaritnoj kommunalnoj mashiny dlya letnego soderzhaniya dvorovyh territorij s ispolzovaniem matematicheskogo modelirovaniya [Determination of rational modes of the small-sized communal machine operation for summer maintenance of yard territories using mathematical modeling]. *Vestnik ISTU*, 2015, no 3, pp. 44–48 (in Russian).

8. Lepesh G.V., Lepesh A.G. K voprosu ehffektivnosti shchetochnyh agregatov kommunalnoj uborochnoj tekhniki [To the question of the brush units' effectiveness of communal cleaning equipment]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2013, no 3, pp. 43–47 (in Russian).

9. Lepesh G.V. Imitacionnoe modelirovanie processa vysokoskorostnogo treniya i iznashivaniya [Simulation of high-speed friction and wear process]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2013, no 3, pp. 35–42 (in Russian).

10. Lepesh G.V., Lepesh A.G. Razrabotka metodiki racionalnogo vybora harakteristik rabocheго processa kommunalnoj uborochnoj tekhniki [Development of methods for the rational selection of work process characteristics of

the municipal cleaning equipment]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2012, no1, pp. 24–31 (in Russian).

11. Ignatov S.D., Cekhosh S.I. Sovershenstvovanie sistemy upravleniya kommunal'noj mashin [Improvement of the control system of municipal vehicles]. *Vestnik SibADI*, 2018, no 2, pp. 207–216 (in Russian).

12. Korchagin P.A. Matematicheskaya model dinamicheskoy sistemy [Mathematical model of dynamical system]. *Vestnik SibADI*, 2013, no 4, pp. 91–95 (in Russian).

13. Panenko V.V. *Matematicheskie-metody-planirovaniya-ehksperimenta* [Mathematical methods of experiment planning]. Novosibirsk, Nauka, 1981. 257 p. (in Russian).

14. Korchagin P.A. Matematicheskaya model' slozhnoj dinamicheskoy sistemy "vozmushchayushchie vozdejstviya - mashina-operator" [Mathematical model of the complex dynamic system "disturbing effects - machine-operator"]. *Vestnik SibADI*, 2015, no 5, pp. 118–123 (in Russian).

15. Lepesh A.G. Nauchnye osnovy povysheniya proizvoditel'nosti podmetal'nyh agregatov kommunal'nyh mashin [Scientific basis for improving the performance of the sweeper units utility vehicles]. *Innovacii*, 2011, no 6, pp. 136–139 (in Russian).

16. Lepesh A.G., Lepesh G.V. Matematicheskoe modelirovanie silovogo vzaimodejstviya shchetok kommunal'nyh mashin s dorozhnym pokrytiem [Mathematical modeling of power interaction of the municipal machines' brushes with a road surface]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2010, no 3, pp. 32–38 (in Russian).

17. Lepesh A.G. K opredeleniyu silovogo vzaimodejstviya shchyotok kommunal'nyh mashin s dorozhnym pokrytiem [To the definition of the force interaction of brushes utility vehicles and the road surface]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2011, no 1, pp. 30–35 (in Russian).

18. Lepesh A.G. Imitacionnoe modelirovanie rabocheго processa kommunal'noj uborochnoj tekhniki [Simulation workflow utilities cleaning equipment]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2011, no 3, pp. 32–41 (in Russian).

19. Adler Yu. P. *Planirovanie-ehksperimenta-pri-poiske-optimalnyh-uslovij* [Planning of experiment when searching optimal conditions]. Moscow, Nauka, 1971. 247 p. (in Russian).

Поступила 09.01.2019, принята к публикации 22.02.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Игнатов Сергей Дмитриевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Техника для строительства и сервиса нефтегазовых комплексов и инфраструктур», ORCID: 0000-0003-1891-8744, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: isdavvadon@mail.ru).

Цехош Софья Ивановна – аспирантка кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника», ORCID: 0000-0002-4904-4173, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: tsekhosh.lyubov@yandex.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ignatov Sergey Dmitrievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering for the Construction and Service of Oil and Gas Complexes and Infrastructures, ORCID: 0000-0003-1891-8744, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: isdavvadon@mail.ru).

Tsekhosh Sofiya Ivanovna – Postgraduate Student of the Automation of Production Processes and Electrical Engineering Department, ORCID:

0000-0002-4904-4173, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: tsekhosh.lyubov@yandex.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Игнатов С.Д. Выявлены факторы, которые способствуют снижению эффективности рабочего процесса коммунальной машины. Руководство проведением эксперимента. Проверка и корректировка статьи. Заключение.

Цехош С.И. Анализ состояния вопроса. Описана математическая модель процесса неуправляемого изменения вертикальной координаты ЩРО. Определен коэффициент жесткости ворса. Проведен эксперимент на базе СибАДИ. Осуществлен анализ экспериментальных и теоретических результатов. Оформление готового варианта статьи.

AUTHORS CONTRIBUTION

Ignatov S.D. revealed the factors that contribute to reducing the efficiency of the municipal machine workflow, led the experiment, checked and corrected the paper and wrote the conclusion.

Tsekhosh S.I. analyzed the state of the question, described the mathematical model of the uncontrollable changing process in the BWB vertical coordinates, determined the stiffness coefficient of the pile, conducted the experiment on the SibADI basis, carried out the analysis of experimental and theoretical results and compiled the finished version of the paper.

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ УТЕЧЕК РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ РАДИАЛЬНЫЙ ЗАЗОР СОПРЯЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОЦИЛИНДРА ВЫВЕШИВАНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО КРАНА

**Д.А. Потахов¹, Я.С. Ватулин²*

¹ *Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I,
г. Санкт-Петербург, Россия*

² *Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I,
г. Санкт-Петербург, Россия
potakhovd@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящей статье на основе определения ресурса уплотнительных элементов гидроцилиндра вывешивания грузоподъемного крана проводится численный расчет утечек рабочей жидкости через радиальный зазор сопряженного узла «поршень – зеркало гидроцилиндра».

Материалы и методы. Применяется метод математического моделирования, позволяющий на основе единой методологической базы моделировать взаимодействие объектов, содержащих элементы различной физической природы. Используемые системы моделирования: функционал *Simulation* (метод конечных элементов) и *Flow Simulation* (метод конечных объемов) программы САПР *SolidWorks*; графическая среда имитационного моделирования *Simulink Matlab* и его пакеты расширения.

Результаты. Приведена трехмерная и неравномерная по сечению сопряжения модель радиального зазора сопряженного узла «поршень – зеркало гидроцилиндра». Предложена методика расчета герметичности гидроцилиндра, устанавливающая следующую взаимосвязь: «нагрузка на гидроцилиндр – число циклов работы уплотнений – неравномерный радиальный зазор между поршнем и гильзой – величина перетечек рабочей жидкости – усадка штока».

Обсуждение и заключение. Полученные результаты позволяют повысить надежность работы силовых гидроцилиндров строительно-дорожных машин и оборудования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: уплотнение, утечки, гидроцилиндр, радиальный зазор, конечно-элементный анализ, *Simulink*, *Flow Simulation*, анализ усталости, рабочая жидкость.

© Д.А. Потахов, Я.С. Ватулин



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

NUMERICAL CALCULATION OF THE HYDRO-LIQUID LEAKAGE THROUGH THE RADIAL CLEARANCE OF THE CONNECTED ELEMENTS ON THE TOWER CRANE HYDROCYLINDER

***D.A. Potakhov¹, Y.S. Vatulin²**

¹ Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,
St. Petersburg, Russia

² Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,
St. Petersburg, Russia
* potakhovd@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The authors present the numerical calculation of the hydro-liquid leakage through the radial clearance of the “piston - hydraulic cylinder” conjugate node on the basis of determining the sealing elements’ resource of the tower crane hydraulic cylinder.

Materials and methods. The authors use the method of mathematical modeling, which makes it possible to model the containing elements’ interaction of different physical nature on the unified methodological basis. Moreover, the paper presents such simulation systems as Simulation (finite element method), Flow Simulation (finite volume method) of the SolidWorks CAD program and Simulink Matlab with expansion packs.

Results. As a result, the authors demonstrate the three-dimensional and irregular cross-section conjugation model of the radial clearance in the “piston - hydraulic cylinder” conjugate node. In addition, the authors propose the calculating method of the hydraulic cylinder tightness. Such method establishes the following scheme: “load on the hydraulic cylinder — number of operating cycles — uneven radial clearance between the piston and the liner — amount of fluid leakage — shrinkage of the rod”.

Discussion and conclusions. The results of the research make it possible to increase the reliability of the power hydraulic cylinders of the road construction machines and equipment.

KEYWORDS: compaction, leakage, hydraulic cylinder, radial clearance, finite element analysis, Simulink, Flow Simulation, fatigue analysis, working fluid.

© D.A. Potakhov, Y.S. Vatulin



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

ВВЕДЕНИЕ

Из опыта эксплуатации гидроцилиндров известно, что уплотнительные узлы перестают обеспечивать необходимую герметичность по причине усталостного разрушения вследствие постепенного разрушения материала уплотнений, выдавливаемых в зазор соединения, что ведет к нарушению режима работы гидроагрегата [1].

Процесс образования износа сопрягаемых элементов носит как закономерный характер – в случаях осуществления рабочего цикла грузоподъемной машины (вес груза, инерционные нагрузки, неравномерное внедрение опор и пр.), приводящих к деформации элементов уплотнений и стенок гильзы, так и случайный характер (фракция и свойства микрочастиц-загрязнителей; форма и размер деформаций, вызванных взаимодействием этих частиц).

Явления, связанные с утечкой рабочей жидкости через контактные уплотнения, сложны и теоретически мало изучены [1]. Для контактных уплотнений утечка происходит за счет заполнения жидкостью микронеровностей, образованных в результате механической обработки и пластических деформаций, износа уплотнений.

Проблеме надежности уплотнительного узла гидроприводов посвящен ряд исследований, связанных с новой конструкцией уплотнений; применением новых материалов уплотнений, экспериментальных и численных методов, в том числе конечно-элементного моделирования, направленных на изучение работы уплотнений и увеличение ресурса уплотнений [2,3,4,5,6,7,8].

Текущее исследование уплотнительного узла гидроцилиндра вывешивания грузоподъемного железнодорожного крана «Сокол - 80.01» состоит из нескольких этапов:

1. Оценка усталостной долговечности уплотнений гидроцилиндра в среде Simulation программы САПР SolidWorks [9, 10].

2. Анализ влияния утечек рабочей жидкости между поршневого и штокового полостями гидроцилиндра в:

– пакете Flow Simulation программы САПР SolidWorks с целью исследования гидродинамических и тепловых процессов [10];

– подсистеме моделирования динамических процессов Simulink программы Matlab при помощи библиотеки Simscape с целью исследования гидродинамических процессов [11,12,13].

Расчет ведется согласно следующей гипотезе: циклическая нагрузка, которой подвергается гидроцилиндр в процессе работы дорожной, строительной и подъемно-транспортных машин, приводит к постепенному изнашиванию уплотнительного узла гидроцилиндра, что является причиной возникновения неравномерного радиального зазора между поршнем и гильзой гидроцилиндра, через который происходят перетечки рабочей жидкости, что в свою очередь приводит к усадке штока гидроцилиндра.

ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ УПЛОТНЕНИЙ

В зависимости от положения поршня в гильзе, от диаметров и зазоров элементов гидроцилиндра теоретически возможны 3 варианта контактирования¹. В первом варианте контактирования зазор между штоком и втулкой существенно больше, чем между гильзой и поршнем; наблюдается контактная пара «поршень – гильза». Второй вариант: зазор между гильзой и поршнем существенно больше, чем между штоком и втулкой; контактная пара «направляющая втулка – шток». Третий вариант: зазор между поршнем и гильзой равен зазору между штоком и втулкой; край поршня контактирует с зеркалом гильзы, а край втулки – со штоком.

Допущения расчета: внешняя нагрузка представляется в виде следующей гармонической функции: $P(t) = P_m \cdot \sin(\omega t + \psi)$ ², форма уплотнений упрощена.

Внешняя нагрузка представляет собой вертикальную ($P_v = 200 \dots 500$ кН) и горизонтальную составляющие ($P_r = 5$ кН) реакции выносной опоры; действие только вертикальной составляющей соответствует штатному режиму нагружению, горизонтальной и вертикальной – нештатному.

Основной характеристикой материала, используемой для описания процесса многоциклового усталости, является кривая усталости

¹ Ватулин Я.С. Синтез силовых гидроцилиндров строительных кранов: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Я. С. Ватулин; ТулГУ. Тула: 1996. 223 с.

² Вайнсон А.А. Подъемно-транспортные машины: Учебник для вузов по специальности «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование». 4-е изд., перераб. и доп. / А.А. Вайнсон. М.: Машиностроение, 1989. 536 с.

(кривая Велера (Wöhler)); часто в зарубежной литературе и программных продуктах (например SolidWorks) подобная кривая носит название SN - кривая, она описывает зависимость между действующим напряжением S и числом циклов до разрушения N [9,10]. В библиотеке материалов SolidWorks для некоторых материалов кривые усталости SN определены, источником справок для них служит Atlas of Fatigue Curves издательства ASM International [9,10,14]. В качестве материала уплотнений в исследовании применяется широко используемый конструкционный термопластичный материал «РА Тип 6» (полиамид 6).

Усталостное исследование основывается на теории линейного накопления повреждений Майнера, существенным достоинством которой является ее простота, вследствие чего она получила широкое применение [15].

Результаты расчетов в зависимости от вида нагрузки и варианта контактирования представлены на рисунке 1 и в таблице. В таблице показан процесс разрушения уплотнений для штатного ($P_b = 500$ кН; $P_r = 0$ кН) и нештатного ($P_b = 500$ кН; $P_r = 5$ кН) режимов нагружения гидроцилиндра вывешивания грузоподъемного крана.

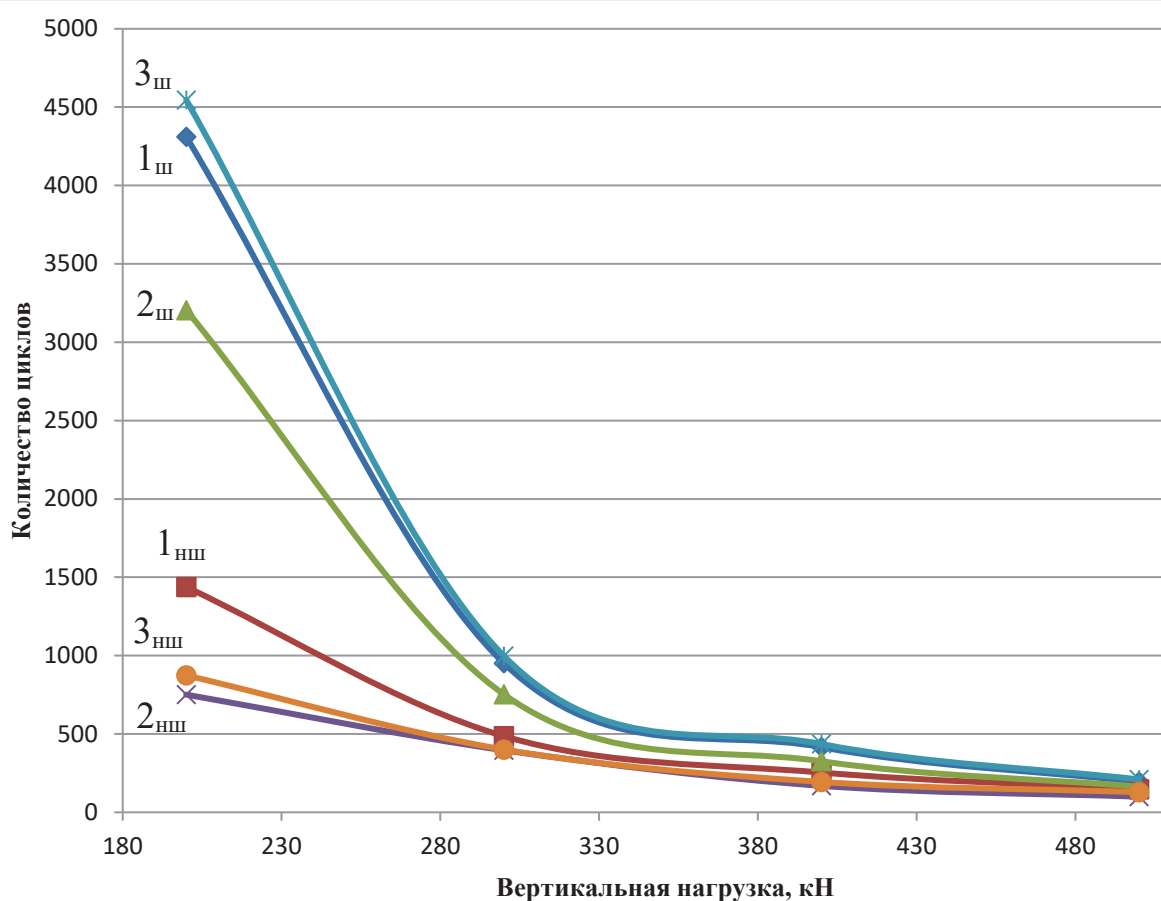


Рисунок 1 – Минимальный срок службы уплотнений (число циклов):
1 – первый вариант контактирования; 2 – второй вариант контактирования; 3 – третий вариант контактирования (уплотнения втулки)
Индекс «ш» соответствует штатному режиму нагружения, «нш» – нештатному режиму нагружения

Figure 1 – Minimum service time (number of cycles):
1 –first variant of contacting; 2 –second variant of contacting; 3 –third variant of contacting (sleeve sealing)
Index “s” corresponds to the standard loading mode, “ns” – non-standard loading mode

ТАБЛИЦА

Процесс разрушения уплотнений

TABLE

Seal destruction process

Число циклов работы			
1 000	5 000	10 000	15 000
1-й вариант контактирования, нештатный режим нагружения			
2-й вариант контактирования, нештатный режим нагружения			
2-й вариант контактирования, штатный режим нагружения			
3-й вариант контактирования, нештатный режим нагружения			

Таким образом, наличие горизонтальных сил, приложенных к выносной опоре, снижает усталостную долговечность уплотнений гидроцилиндра. При этом процесс разрушения уплотнений при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил носит явно выраженный неравномерный характер. Стоит отметить: разрушаются те уплотнения штока (сопряжение «направляющая втулка – шток»), которые расположены дальше от полостей с рабочей жидкостью, что может служить причиной попадания в гидроцилиндр загрязнений из внешней среды; уплотнения поршня (сопряжение «поршень – гильза») разрушаются преимущественно с одной стороны, что может служить причиной перетечек рабочей жидкости между полостями гидроцилиндра.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГИДРОЦИЛИНДРА С УЧЕТОМ РАДИАЛЬНОГО ЗАЗОРА СОПРЯЖЕННОГО УЗЛА «ПОРШЕНЬ – ЗЕРКАЛО ГИДРОЦИЛИНДРА»

Гидродинамический расчет гидроцилиндра с учетом радиального зазора сопряженного узла «поршень – зеркало гидроцилиндра» включает в себя расчет в Flow Simulation SolidWorks и расчет в Simulink Matlab.

Рассматривается в качестве примера гидроцилиндр с одним вариантом контактирования сопряжения «поршень – гильза» при нештатном ($P_b = 500$ кН; $P_r = 5$ кН) режиме нагружения.

В исследовании радиальный зазор между поршнем и гильзой моделируется трехмерным, неравномерным по сечению сопряжения по результатам усталостного расчета уплотнений гидроцилиндра. При этом моделируется неравномерный износ всех уплотнений одновременно. Благодаря этому приведенный расчет принципиально отличается от ряда других исследований, в которых зазор принимается постоянной величиной по сечению сопряжения.

Flow Simulation позволяет рассматривать тепловые процессы, однако в расчете утечек рабочей жидкости в Flow Simulation делается допущение, что закономерность течения жидкости в «большом» и «малом» зазорах одна и та же. Это связано с тем, что построение конечной сетки размеров порядка 1 – 10 мкм увеличивает размерность задачи, что требует значительных ресурсов ЭВМ [10].

Численное моделирование гидроцилиндра в подсистеме Simulink программы Matlab не предполагает построение эпюр гидродинамических и тепловых процессов, однако позволяет учесть величины порядка 1 мкм, что позволяет учесть динамику потока жидкости в зазоре [13].

РАСЧЕТ В FLOW SIMULATION SOLIDWORKS

Движение и теплообмен текучей среды в Flow Simulation моделируется при помощи уравнений Навье-Стокса, описывающих в нестационарной постановке законы сохранения массы, импульса и энергии этой среды [9, 10]. Для моделирования турбулентных течений уравнения Навье-Стокса осредняются по Рейнольдсу; в результате уравнения имеют дополнительные члены – напряжения по Рейнольдсу, а для замыкания этой системы уравнений используются уравнения переноса кинетической энергии турбулентности и ее диссипации в рамках k – модели турбулентности [10].

Для привязки математической модели к инженерной задаче и к конкретной расчетной области в Flow Simulation применяется метод фиктивных областей. С целью нахождения искомого численного решения непрерывная нестационарная математическая модель физических процессов дискретизируется по пространству и времени [10]. Для дискретизации по пространству расчетная область покрывается расчетной сеткой с использованием метода конечных объемов.

На первом этапе назначаются глобальные настройки расчетной модели: тип и параметры анализа (внутренний), текучая среда, материал для всех элементов гидроцилиндра, условия на стенках, начальные и граничные условия. В качестве текучей среды применяется гидравлическое масло ВМГЗ (всесезонное гидравлическое загущенное масло). Однако данный материал отсутствует в базе данных программы SolidWorks, поэтому создается «материал пользователя», настроенный согласно основным характеристикам применяемого гидравлического масла. Для этого известные эмпирические зависимости переносятся в базу данных созданного «материала пользователя» (рисунок 2) [16].

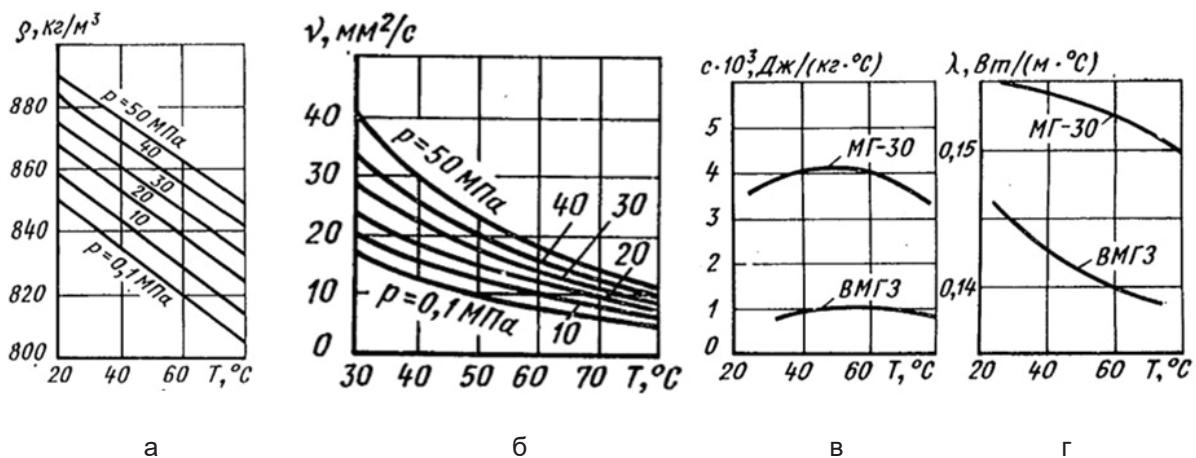


Рисунок 2 – Основные характеристики гидравлического масла ВМГЗ.
Зависимости: а – плотности от температуры и давления; б – кинематической вязкости от давления и температуры; в – удельной теплоемкости от температуры; г – теплопроводности от температуры

Figure 2 – Main characteristics of all-season thickened hydraulic oil.
Dependence: а – density of temperature and pressure; б – kinematic viscosity of pressure and temperature; в – specific heat from temperature; г – thermal conductivity from temperature

Начальными условиями являются: давления в поршневой P_p и штоковой $P_{шт}$ полостях, соответствующие текущему нагружению; температура элементов гидроцилиндра и текучей среды ($T_{нач} = 273,2$ K), радиальный зазор между поршнем и гильзой вследствие износа уплотнительного узла.

Далее назначаются цели проекта исследования, параметры сетки, проводится расчет. Результаты гидродинамического и теплового расчетов гидроцилиндра представлены на рисунках 3, 4.

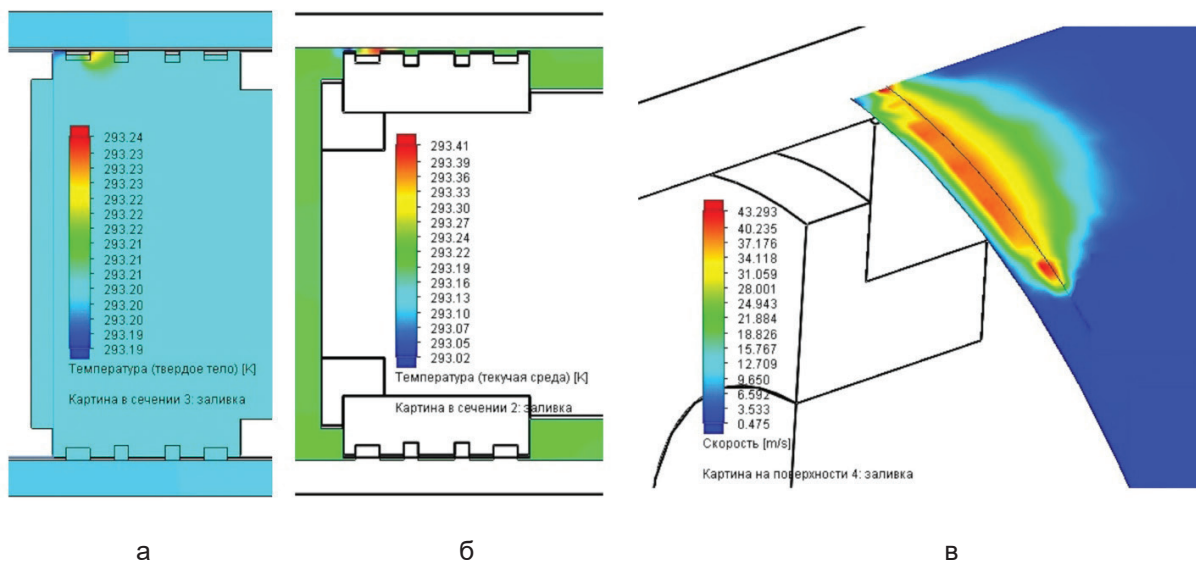


Рисунок 3 – Распределение параметров в случае радиального зазора сопряжения «поршень – гильза»: а – температуры твердых тел; б – температуры текучей среды; в – скорости движения рабочей жидкости по поверхности гильзы

Figure 3 – Parameters' distribution in case of the "piston – sleeve" radial clearance: а – solids temperature; б – fluid temperature; в – movement speed of the working fluid on the liner surface

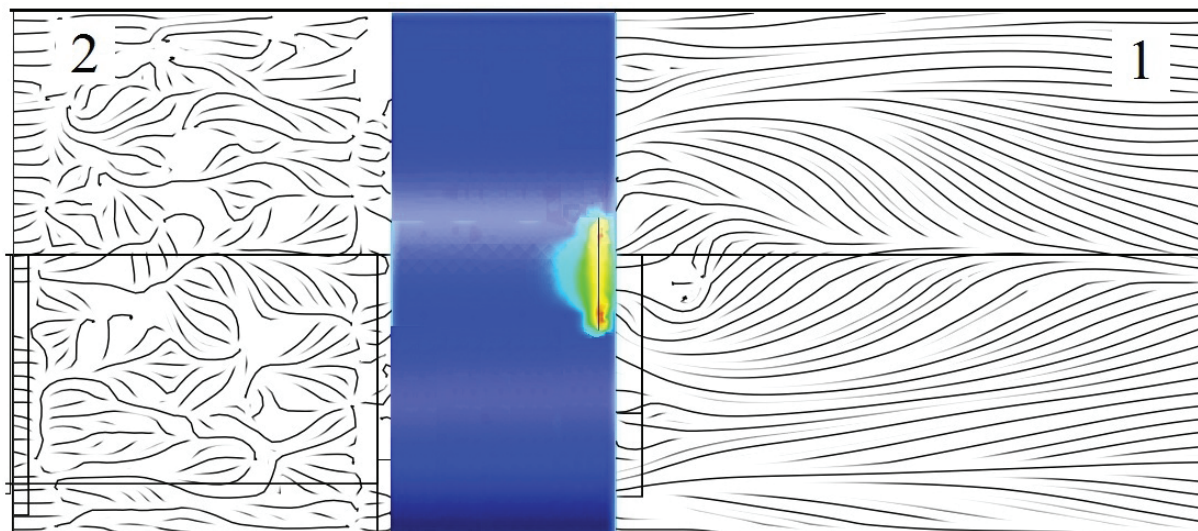


Рисунок 4 – Распределение линий тока и скорости движения жидкости по поверхности гильзы гидроцилиндра в случае радиального зазора сопряжения «поршень – гильза»:
1 – штоковая полость; 2 – поршневая полость

Figure 4 – Distribution of current lines and fluid velocity over the cylinder liner surface in case of the radial “piston – sleeve” clearance:
1 – rod cavity; 2 – piston cavity

Анализ полученных данных (см. рисунок 3, 4) показал, что в результате радиального смещения поршня уплотнительного узла, износа и смятия уплотняемых и сопрягаемых элементов:

- утечка рабочей жидкости через образовавшийся радиальный зазор характеризуется резким повышением скорости движения жидкости в зазоре;

- изменяется характер контактного взаимодействия жидкости и конструкции гидроцилиндра, приводящий к нарушению теплового баланса гидравлического агрегата;

- происходит перемешивание текучей среды, представляющее собой поперечные перемещения и вращательные движения отдельных объемов жидкости.

РАСЧЕТ В SIMULINK MATLAB

Разработанная Simulink-модель гидропривода выносных опор грузоподъемного крана, учитывающая сжимаемость жидкости, трение между подвижными частями в гидроцилиндре вывешивания, инерцию жидкости, потери в трубопроводе, внутренние перетечки рабочей жидкости, представлена на рисунке 5.

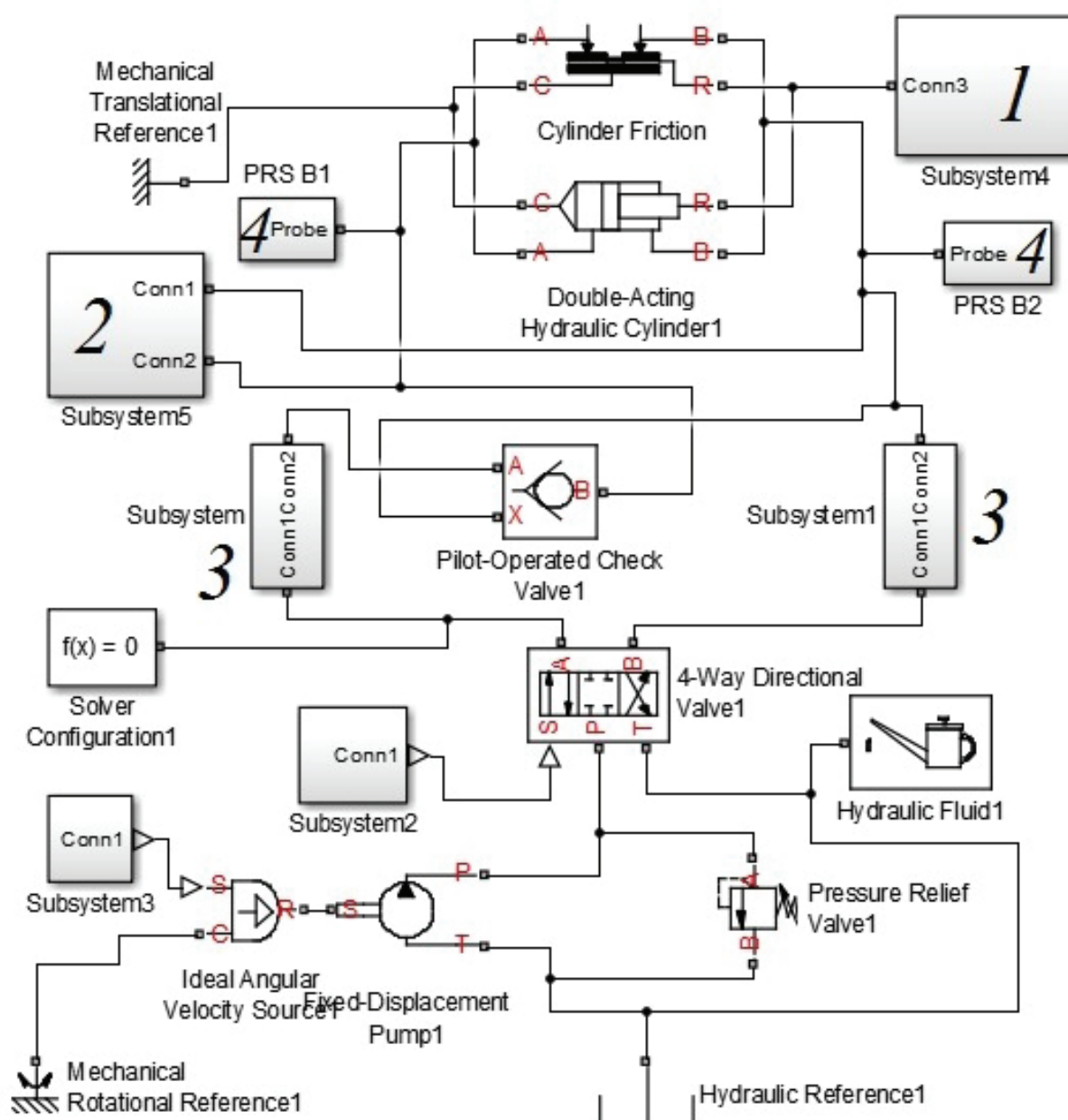


Рисунок 5 – Блочная модель-структура нагружения гидроцилиндра вывешивания в Simulink.
Субсистемы: 1 – support load; 2 – модель радиального зазора; 3 – инерция и сопротивление жидкости; 4 – определение давления

Figure 5 – Block model-loading structure of the hydraulic cylinder in Simulink.
Subsystems: 1 – load on the support; 2 – radial clearance model; 3 – inertia and fluid resistance; 4 – pressure determination

С целью исследования внутренних перетечек между полостями гидроцилиндра разработан оригинальный блок, моделирующий радиальный зазор и представляющий собой совокупность последовательно соединенных блоков «Annular Orifice» с параметрами, настроенными согласно результатам усталостного расчета уплотнений гидроцилиндра. Блок

«Annular Orifice» представляет собой кольцевой дроссель, образованный круглыми трубкой и вставкой, которая может быть эксцентрично расположена относительно трубки [13, 17]. Расход через кольцевой дроссель может быть найден из уравнения Хагена-Пуазейля [13, 17]

$$q = \frac{\pi R(R-r)^3}{6\nu\rho L} \cdot \left(1 + \frac{3}{2}\varepsilon^2\right) \cdot p; \quad \varepsilon = \frac{e}{R-r}, \quad (1)$$

где q – расход потока; p – перепад давления; R – радиус отверстия; r – радиус вставки; L – длина перекрытия; ε – коэффициент эксцентриситета; e – эксцентриситет; ρ – плотность жидкости; ν – кинематическая вязкость жидкости.

Схема моделирования радиального зазора в результате износа уплотнений представлена на рисунке 6.

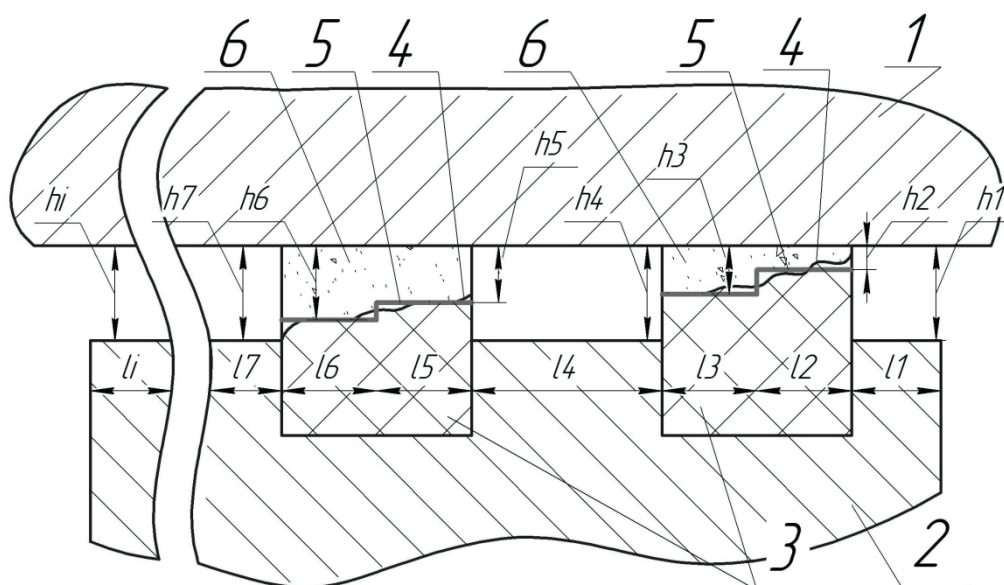


Рисунок 6 – Схема моделирования радиального зазора в результате износа уплотнений:
1 – гильза гидроцилиндра; 2 – поршень; 3 – уплотнение; 4 – кривая износа уплотнения; 5 – упрощенное представление кривой износа уплотнения; 6 – разрушение уплотнений;
 $h_1, \dots, h_i$ – радиальный зазор; $l_1, \dots, l_i$ – длина зазора

Figure 6 – Simulation diagram of the radial clearance as a result of seals wear:
1 – cylinder liner, 2 – piston, 3 – seal, 4 – seal wear curve, 5 – simplified representation of the seal wear curve,
6 – seal failure;
 $h_1, \dots, h_i$ – radial clearance; $l_1, \dots, l_i$ – gap length

Блок «Cylinder Friction» моделирует трение между подвижными частями в гидравлических цилиндрах [13]. Блок «Variable Volume Chamber» (входит в блок «Double-Acting Hydraulic Cylinder») моделирует сжимаемость жидкости в цилиндре [13]. Блок «Fluid Inertia» моделирует перепад давления, который изменяется в зависимости от скорости потока, в поперечном сечении некоторого участка гидролинии. Блок «Resistive Tube» моделирует сопротивление в устойчивых режимах движения жидкости.

Настроив имитационную модель под заданный режим нагружения, проводится моделирование утечек рабочей жидкости гидроцилиндра вывешивания грузоподъемного крана. Давление не подается, полости гидроцилиндра закрыты запирающими устройствами, на шток действует статическая нагрузка, представляющая собой реакцию опоры. Время моделирования – 100 секунд. Результаты расчета утечек гидроцилиндра вывешивания грузоподъемного крана приведены на рисунках 7, 8.

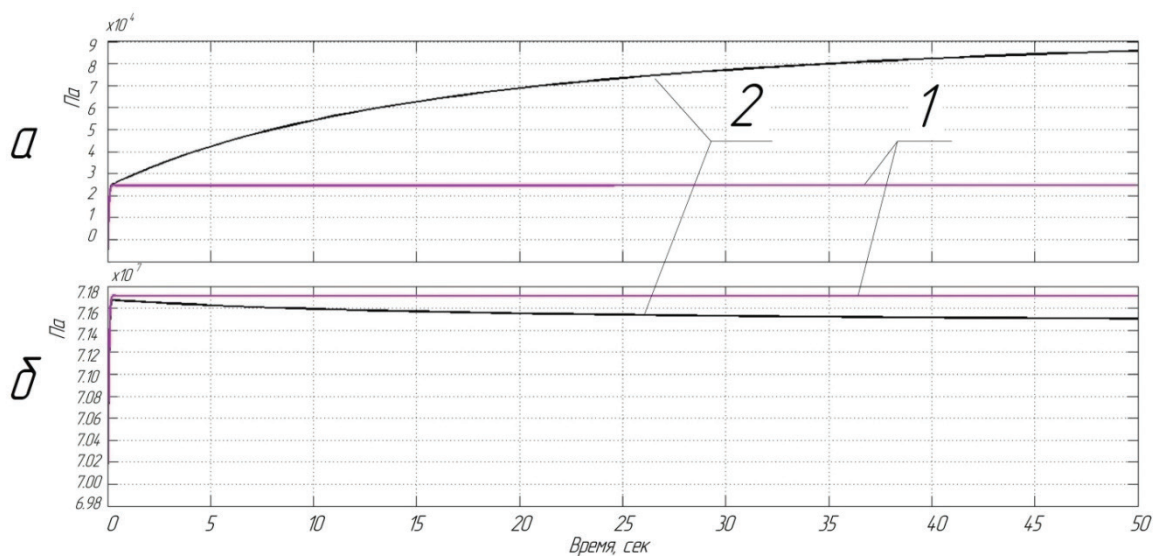


Рисунок 7 – Давление в гидроцилиндре вывешивания:
а – штоковая полость; б – поршневая полость;
1 – без перетечек; 2 – с перетечками

Figure 7 – Pressure in the hydraulic cylinder:
a – rod cavity; b – piston cavity;
1 – without overflow; 2 – with overflow

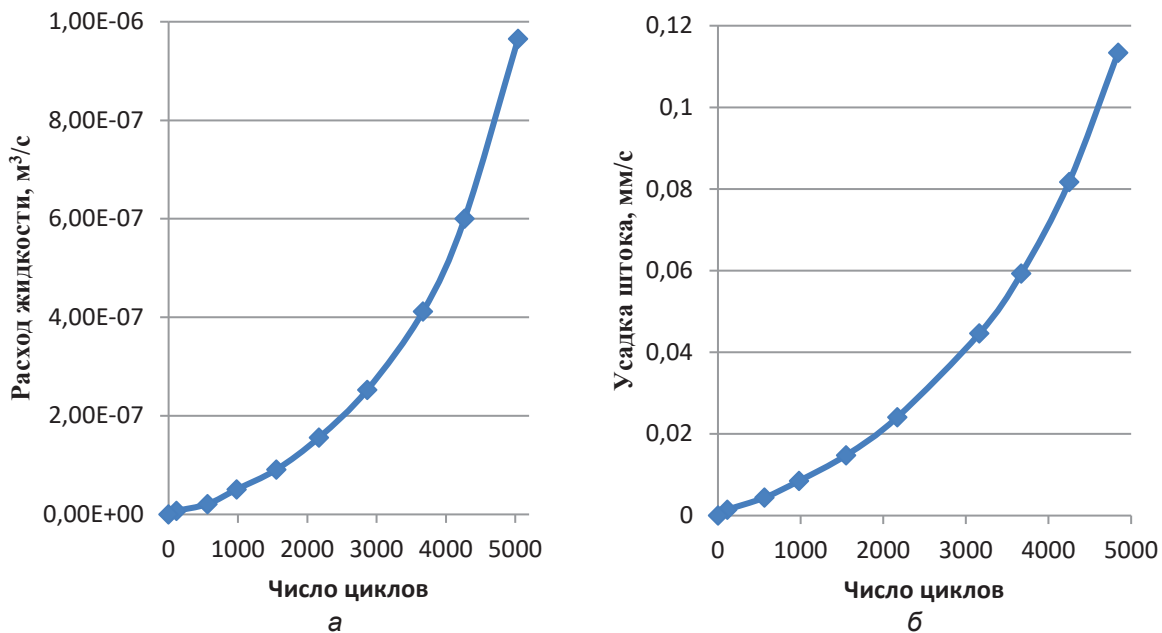


Рисунок 8 – Результаты расчета утечек гидроцилиндра вывешивания крана:
а – зависимость расхода жидкости через радиальный зазор; б – зависимость усадки штока гидроцилиндра

Figure 8 – Calculation results of the hydraulic cylinder leakage for the tower crane hanging:
a – dependence of the fluid flow through the radial clearance; b – dependence of the hydraulic cylinder rod shrinkage

Таким образом, разработанная модель радиального зазора узла «поршень – зеркало гидроцилиндра» (рисунок 6) позволяет установить следующую взаимосвязь: «неравномерный радиальный зазор между поршнем и

гильзой – величина перетечек рабочей жидкости – усадка штока» и таким образом исследовать работу (как в статике, так и в динамике) гидроцилиндра с учетом утечек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты исследования усталостной долговечности уплотнений позволяют определить и проследить образование неравномерного по сечению радиального зазора между поршнем и гильзой гидроцилиндра и, следовательно, могут быть использованы для повышения долговечности уплотнительных элементов. Установлено, что максимальная усталостная долговечность при штатном режиме нагружения наблюдается у гидроцилиндров вывешивания с первым и третьим вариантами контактирования сопряженных элементов, в случае нештатного режима нагружения – с первым вариантом контактирования.

Определено, что в результате радиального смещения поршня уплотнительного узла, износа и смятия уплотняемых и сопрягаемых элементов:

- происходит утечка рабочей жидкости через образовавшийся радиальный зазор, которая приводит к снижению продольной жесткости гидроцилиндра вывешивания (проседание поршня под нагрузкой), что в свою очередь служит одним из источников снижения надежности производства погрузочно-разгрузочных работ;

- происходит неравномерное распределение сил трения сопряженного узла, что ведет к неравномерному и чрезмерному износу контактирующих элементов;

- нарушается тепловой баланс гидравлического агрегата: увеличивается диапазон температуры « $T_{\min}$ – $T_{\max}$ » места контакта сопряжения, что ведет к неравномерному нагреву уплотнительных элементов и рабочей жидкости в полости гидроцилиндра. Это отрицательно влияет на рабочие свойства применяемых рабочих жидкостей и ведет к уменьшению срока службы элементов гидросистемы.

Предложена трехмерная и неравномерная по сечению сопряжения модель радиального зазора сопряженного узла «поршень – зеркало гидроцилиндра», позволяющая исследовать процесс утечки рабочей жидкости гидроцилиндра вследствие износа уплотнительного узла.

Предложена методика расчета герметичности гидроцилиндра, устанавливающая следующую взаимосвязь: «нагрузка на гидроцилиндр – число циклов работы уплотнений – неравномерный радиальный зазор между поршнем и гильзой – величина перетечек рабочей жидкости – усадка штока».

Приведенный расчет при статическом положении поршня гидроцилиндра можно применять и к анализу возвратно-поступательного движения, к исследованию уплотнений любых форм и сечений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров Г.В. Уплотнительные устройства. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: «Машиностроение» (Ленинградское отделение), 1973. 232 с.
2. Wang C.-S., Qin Y., An Q. Finite element analysis for the rubber O-ring in a mechanical seal. *Tribology in Industry*. 2013. Vol. 39, Issue 6. pp. 761–767.
3. Chao Peng, Shengrong Guo, Xiaoping Ouyang, Qinghe Zhou, Huayong Yang. Mixed Lubrication Modeling of Reciprocating Seals Based on a Developed Multiple-Grid Method. *Tribology Transactions*. 2018, 10, pp. 1151-1161
4. Bhaumik S., Bhandari P., Guruprasad S., Adepu K. Study of effect of seal profile on tribological characteristics of reciprocating hydraulic seals. *Tribology in Industry*. 2015. Vol. 37, No. 2. pp. 264–274.
5. Burenin V. V. New seals for the moving joint of hydraulic power cylinders. *Russian Engineering Research*. 2011. T. 31, № 10. pp. 1036–1038.
6. A. Wohlers, O. Heipl, B.N.J. Persson, M. Scaraggi, and H. Murrenhoff. Numerical and Experimental Investigation on O-Ring-Seals in Dynamic Applications. *International Journal of Fluid Power*. 2009. 10(3), pp. 51–59.
7. Cui. T., Chien C.H., Chao Y. J., Lin C.-W., Zee J. W. Van. Service life estimation of liquid silicone rubber seals in polymer electrolyte membrane fuel cell environment. *Journal of Power Sources*. 2011. Vol. 196, Issue 3. pp. 1216–1221.
8. Zhang X., Wang G., Xia P., Li H.P., He M. Finite element analysis and experimental study on contact pressure of hydraulic support bud-shaped composite sealing ring. *Advances in Mechanical Engineering*. 2016, 10, pp. 1–9.
9. Kurowski Paul. *Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2017*, SDC Publications, 2017, 600 p.
10. Kurowski Paul. *Thermal Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2018 and Flow Simulation 2018*, SDC Publications, 2018, 302 p.
11. Agam Kumar Tyagi, *MATLAB and Simulink for Engineers*, Oxford University Press, 2012, 492 p.
12. Nuruzzaman Mohammad, *Modeling and Simulation In SIMULINK for Engineers and Scientists*, AuthorHouse, 2005, 240 p.
13. The MathWorks Inc.: *SimHydraulics User's Guide*, Version 1.16, 2015, The MathWorks Inc., Natick, MA
14. *Atlas of Fatigue Curves*, Edited by H.E. Boyer, ASM International, 1986, 518 p.
15. Collins J. A. *Failure of Materials in Mechanical Design: Analysis, Prediction, Prevention*. John Wiley & Sons, New York, 1993, 654 p.

16. Васильченко В.А. Гидравлическое оборудование мобильных машин: Справочник. М.: Машиностроение, 1983. 301 с.

17. Noah D. Manring, Hydraulic Control Systems, John Wiley & Sons, New York, 2005, 464 p.

REFERENCES

1. Makarov G. V. *Uplotnitel'nye ustrojstva* [Sealing devices]. Ed. 2nd, reworked. and add. L: Mechanical Engineering (Leningrad Branch), 1973. 232 p. (in Russian).

2. Wang C.-S., Qin Y., An Q. Finite element analysis for the rubber O-ring in a mechanical seal. *Tribology in Industry*. 2013. Vol. 39, Issue 6. P. 761–767.

3. Chao Peng, Shengrong Guo, Xiaoping Ouyang, Qinghe Zhou, Huayong Yang. Mixed Lubrication Modeling of Reciprocating Seals Based on a Developed Multiple-Grid Method. *Tribology Transactions*. 2018, 10, P.1151–1161.

4. Bhaumik S., Bhandari P., Guruprasad S., Adepu K. Study of effect of seal profile on tribological characteristics of reciprocating hydraulic seals. *Tribology in Industry*. 2015. Vol. 37, No. 2. P. 264–274.

5. Burenin V. V. New seals for the moving joint of hydraulic power cylinders. *Russian Engineering Research*. 2011. T. 31, № 10. P.1036–1038.

6. A. Wohlers, O. Heipl, B.N.J. Persson, M. Scaraggi, and H. Murrenho. Numerical and Experimental Investigation on O-Ring-Seals in Dynamic Applications. *International Journal of Fluid Power*. 2009. 10(3), P. 51–59.

7. Cui T., Chien C.H., Chao Y. J., Lin C.-W., Zee J. W. Van. Service life estimation of liquid silicone rubber seals in polymer electrolyte membrane fuel cell environment. *Journal of Power Sources*. 2011. Vol. 196, Issue 3. P. 1216–1221.

8. Zhang X., Wang G., Xia P., Li H.P., He M. Finite element analysis and experimental study on contact pressure of hydraulic support bud-shaped composite sealing ring. *Advances in Mechanical Engineering*. 2016, 10, P. 1–9.

9. Kurowski Paul. *Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2017*, SDC Publications, 2017, 600 p.

10. Kurowski Paul. *Thermal Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2018 and Flow Simulation 2018*, SDC Publications, 2018, 302 p.

11. Agam Kumar Tyagi, *MATLAB and Simulink for Engineers*, Oxford University Press, 2012, 492 p.

12. Nuruzzaman Mohammad, *Modeling and Simulation In SIMULINK for Engineers and Scientists*, AuthorHouse, 2005, 240 p.

13. The MathWorks Inc.: *SimHydraulics User's Guide*, Version 1.16, 2015, The MathWorks Inc., Natick, MA.

14. *Atlas of Fatigue Curves*, Edited by H.E. Boyer, ASM International, 1986, 518 p.

15. Collins J.A. *Failure of Materials in Mechanical Design: Analysis, Prediction, Prevention*. John Wiley & Sons, New York, 1993, 654 p.

16. Vasilchenko V.A. *Gidravlichesкое oborudovanie mobil'nyh mashin: Spravochnik* [Hydraulic equipment of mobile machines: a handbook] Moscow, Mashinostroenie, 1983. 301 p. (in Russian).

17. Noah D. Manring, Hydraulic Control Systems, John Wiley & Sons, New York, 2005, 464 p.

Поступила 03.02.2018, принята к публикации 22.02.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ватулин Ян Семенович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Подъемно-транспортные, путевые и строительные машины», ФГБОУ ВО ПГУПС (190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9, e-mail: yan-roos@yandex.ru)

Потахов Денис Александрович – аспирант кафедры «Подъемно-транспортные, путевые и строительные машины», ФГБОУ ВО ПГУПС (190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9, e-mail: potakhovd@mail.ru)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Potakhov Denis Aleksandrovich – Postgraduate Student, Department of Lifting and Transport, Track and Construction Machinery, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (190031, St. Petersburg, 9, Moskovsky Ave., e-mail: potakhovd@mail.ru).

Vatulin Yan Semenovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Lifting and Transport, Track and Construction Machinery, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (190031, St. Petersburg, 9, Moskovsky Ave., e-mail: yan-roos@yandex.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Авторы совместно трудились над всеми разделами статьи. Вклад каждого из соавторов 50%.

AUTHORS CONTRIBUTION

The authors have equal contribution to all sections of the article.

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

УДК: 621.436.22:629.08

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ВО ВПУСКНОМ КОЛЛЕКТОРЕ ДВИГАТЕЛЯ НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ИМПУЛЬСА ОТКРЫТИЯ ФОРСУНКИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Б.У. Акунов*, К.Дж. Касымбеков

Кыргызский государственный технический университет (КГТУ)

им. И. Раззакова,

г. Бишкек, Кыргызская Республика

**akunov1@yandex.ru*

АННОТАЦИЯ

Введение. Температура воздуха во впускном коллекторе используется электронным блоком управления двигателем для корректирования времени впрыска топлива форсункой. Температура воздуха на впуске – величина непостоянная и зависит от условий эксплуатации автомобиля. При снижении температуры воздуха на впуске длительность импульса открытия форсунок увеличивается и, наоборот, при повышении температуры воздуха на впуске длительность импульса открытия форсунок уменьшается.

Материалы и методы. Основное содержание исследования составляет анализ влияния температуры воздуха во впускном коллекторе двигателя на длительность импульса открытия форсунки при работе двигателя на холостом ходу и при движении автомобиля с различными скоростными режимами на равнинном, горном и высокогорном участках автомобильной дороги.

Результаты. Результаты исследования показали, что движение автомобиля на больших скоростях на равнинных участках автомобильной дороги приводит к значительному снижению температуры воздуха во впускном коллекторе и увеличению длительности импульса открытия форсунок. При движении автомобиля на подъем влияние температуры воздуха во впускном коллекторе на длительность импульса открытия форсунок незначительное, так как на скорость движения автомобиля оказывают влияние сложность рельефа местности и параметры горной и высокогорной автомобильной дороги.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: топливовоздушная смесь, температура воздуха на впуске, длительность открытия форсунки, электронный блок управления, скорость движения автомобиля, автомобильная дорога, равнинный участок, высокогорный участок.

© Б.У. Акунов, К.Дж. Касымбеков



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

INFLUENCE OF AIR TEMPERATURE ON DURATION OF IMPULSE OPENING SPRAY IN THE ENGINE INTAKE MANIFOLD WHILE CAR OPERATION IN VARIOUS CONDITIONS

B.U. Akunov*, K.Dj. Kasymbekov

*Kyrgyz State Technical University (KSTU) named after I. Razzakov,
Bishkek, Kyrgyz Republic*

**akunov1@yandex.ru*

ABSTRACT

Introduction. The air temperature in the intake manifold is used by an electronic engine control unit to adjust the injection time of the fuel injector top. The intake air temperature is variable and depends on the operating conditions of the vehicle. When air intake temperature decreases, the duration of the nozzle opening pulse increases and, conversely, as air intake temperature increases, the duration of the nozzle opening pulse decreases.

Materials and methods. The paper demonstrates the analysis of the air temperature effect in the intake manifold of the engine on the duration of the injector opening pulse while the engine is idling and when the vehicle is moving with different speed conditions on the flat, mountainous and alpine sections of the road.

Results. As a result, the research shows that the movement of the car at high speeds on the flat sections of the road leads to a significant decrease of air temperature in the intake manifold and an increase in the duration of the injector opening pulse. Moreover, when the vehicle moves on the mountainous sections of the road, the effect of air temperature in the intake manifold on the nozzle opening impulse duration is insignificant, since the speed of the vehicle movement is influenced by the complexity of the terrain and the parameters of the mountain and high-mountain roads.

KEYWORDS: air-fuel mixture, intake air temperature, duration of injectors' opening, electronic control unit, vehicle speed, road, flat road, mountainous road.

© B.U. Akunov, K.Dj. Kasymbekov



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

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, эффективная работа двигателей внутреннего сгорания (ДВС), экономические и экологические показатели автомобиля в основном зависят от полноты сгорания горючей смеси в цилиндрах двигателя. Полное сгорание горючей смеси в цилиндрах двигателя зависит от качества образования топливовоздушной смеси, состоящей из воздуха и паров бензина. У современных автомобилей стехиометрический, гомогенный состав топливовоздушной смеси (1 кг топлива на 14,7 кг воздуха) обеспечивает электронный блок управления (ЭБУ) двигателя [1, 2], получая информацию о текущем состоянии двигателя от различных датчиков, в том числе и от датчика температуры воздуха во впускном коллекторе (далее температуры воздуха на впуске).

Температура воздуха на впуске определяется датчиком температуры воздуха на впуске (ДТВВ), который обычно устанавливается во впускном коллекторе в корпусе датчика массового расхода воздуха (ДМРВ) [3], используется ЭБУ двигателем для двух основных корректировок при работе ДВС: для корректирования длительности времени впрыска топлива форсункой и для изменения угла опережения зажигания [4]. Для ЭБУ двигателем информация о температуре воздуха на впуске необходима для оценки плотности воздуха, чтобы он смог сбалансировать топливную смесь для образования оптимального состава топливовоздушной смеси при работе двигателя в различных режимах. Как известно, холодный воздух имеет большую плотность, чем горячий, и требуется больше топлива для сохранения оптимального соотношения смеси воздуха и топлива. ЭБУ двигателя изменяет соотношение воздух – топливо путем изменения длительности импульса впрыска топлива форсункой во впускной коллектор [4]. Таким образом, при снижении температуры воздуха на впуске длительность импульса открытия форсунки увеличивается и, наоборот, при повышении температуры воздуха на впуске длительность импульса открытия форсунки уменьшается.

Влияние температуры воздуха на впуске на длительность импульса открытия форсунок при запуске холодного двигателя автомобиля достаточно широко освещено в работах [5, 6].

Например, в режиме запуска холодного двигателя длительность впрыскивания топлива форсункой определяется с учетом следующих факторов:

- базовой длительности впрыскивания то-

плива, которая рассчитывается ЭБУ с учётом температуры охлаждающей жидкости в двигателе;

- температуры воздуха во впускном коллекторе двигателя;

- продолжительности срабатывания форсунки, т.е. время задержки открытия и закрытия электромагнитного клапана форсунки, так называемое lag time форсунки.

В работе [7, 8], по результатам проведенных научно-исследовательских работ в Тюменском государственном нефтегазовом университете, по определению оптимальной температуры воздуха во впускном коллекторе двигателя отмечается, что температура воздуха, при которой обеспечивается оптимальный состав смеси воздуха и топлива, составляет 40 – 60 °С. Но в реальных условиях в процессе движения автомобиля поддержание такого температурного режима воздуха на впуске невозможно из-за влияния различных переменных факторов внешней среды [7, 8]. Под влиянием факторов внешней среды автомобиль движется в различных скоростных режимах. Поэтому температура воздуха на впуске двигателя в зависимости от условий эксплуатации автомобиля колеблется в широких пределах. Например, в зимнее время при эксплуатации автомобиля в горных и высокогорных условиях, когда автомобиль движется на подъем, температура воздуха на впуске снижается до 10 °С, что приводит к ухудшению испаряемости топлива во впускном коллекторе двигателя. Летом, при эксплуатации автомобиля в равнинных условиях, когда двигатель работает на холостом ходу и при движении автомобиля на малых скоростях (например в городе), наоборот, температура воздуха на впуске поднимается до 70 – 80 °С. При этом наполняемость цилиндров горючей смесью (воздухом) ухудшается. Таким образом, температура воздуха на впуске двигателя оказывает существенное влияние на качество образования топливовоздушной смеси.

Поэтому анализ и учет влияния температуры воздуха на впуске на длительность импульса открытия форсунки двигателя при движении автомобиля на различных скоростных режимах являются одним из актуальных вопросов, направленных на улучшение топливно-экономических и экологических показателей автомобиля. Так как расход топлива автомобиля при эксплуатации непосредственно зависит от длительности импульса открытия форсунки двигателя.

Особо следует подчеркнуть о важности исправности ДТВВ и достоверности информации о величине температуры воздуха на впуске. По его показаниям ЭБУ двигателя корректирует объем впрыска топлива форсункой. При неисправности ДТВВ величина температуры воздуха на впуске принимается ЭБУ 20 °С для 16-клапанного двигателя [9]. Особенно это важно при движении автомобиля с большой скоростью на равнинной дороге в жаркое время года и при движении на подъем в зимнее время года.

Исходя из этих аргументаций, в данной работе авторами поставлена задача по исследованию влияния температуры воздуха на впуске на длительность импульса открытия форсунки двигателя при движении автомобиля на различных скоростных режимах при эксплуатации его в различных условиях.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы является анализ влияния температуры воздуха во впускном коллекторе двигателя на длительность импульса открытия форсунки при работе двигателя на холостом ходу и при движении автомобиля в различных условиях.

Для анализа показателей температуры воздуха во впускном коллекторе двигателя в реальных условиях эксплуатации автомобиля проведены серии экспериментальных исследований на автомобилях Toyota Corolla Verso с двигателем 3ZZ-FE, Toyota Avensis с двигателем 4A-FE, Mitsubishi Space Star с двигателем 4G18. Двигатели автомобилей оснащены системой распределенного впрыска топлива, способ подачи топлива – фазированный (синхронный).

Экспериментальные исследования проводились на автомобильной дороге Бишкек – Ош, которая соединяет северные регионы Кыргызской Республики с южными регионами. Для автомобильной дороги Бишкек – Ош характерны равнинные, горные и высокогорные условия эксплуатации автомобилей, и проходит она на высоте 750 – 3200 м над уровнем моря через высокогорные перевалы Тоо-Ашуу и Ала-Бель (3200 м над уровнем моря) [10]. При проведении эксперимента использовались компьютерная программа MotorData и кабельный адаптер ELM 327 для подключения компьютера к DLC (Data Link Connector) разъему автомобиля, т.е. к системе бортовой

самодиагностики – EOBD (European On Board Diagnostic – Европейская бортовая диагностическая система, основанная на спецификации OBD-II) автомобиля.

Следует подчеркнуть, что в условиях Кыргызской Республики температура окружающего воздуха на равнинных местностях (650 – 1000 м над уровнем моря) в жаркое время года достигает 45 °С. В горных (1500 – 2500 м над уровнем моря) и высокогорных (2500 – 3000 и более м над уровнем моря) условиях температура окружающего воздуха в жаркое время года составляет 5 – 15 °С. В холодное время года в горных и высокогорных местностях температура окружающего воздуха снижается до – 45 °С.

После статистической обработки полученных результатов экспериментальных исследований выявлено, что на увеличение длительности импульса открытия форсунки двигателя существенно влияет изменение температуры воздуха на впуске при движении автомобиля на различных скоростных режимах. Следует отметить, что скорость движения автомобиля является основным эксплуатационным параметром, который сильно изменяется в зависимости от условий эксплуатации и оказывает значительное влияние на расход топлива [11].

Поэтому в качестве примера на рисунках 1, 2 и 3 показаны графики влияния скорости движения автомобиля на показатели температуры воздуха во впускном коллекторе двигателя при эксплуатации автомобиля в жаркое время года в различных условиях. Из графиков видно, что с изменением температуры воздуха на впуске в зависимости от скорости движения автомобиля изменяются показатели длительности импульса открытия форсунки.

На графике (см. рисунок 1) показаны изменения показателей температуры воздуха на впуске и длительности импульса открытия форсунок в зависимости от скорости движения автомобиля на равнинном участке Кара-Балта – пост «Сосновка» автомобильной дороги Бишкек – Ош (61 – 72 км). Из графика видно, что при работе двигателя на холостом ходу $T_{\text{вв}} = 38$ °С, а $t_{\text{иф}} = 2,43$ мс. С момента трогания автомобиля с места до скорости разгона 72 км/ч температура воздуха на впуске снижается с 38 °С до 20 °С, т.е. на 18 °С. Длительность импульса открытия форсунки при температуре воздуха на впуске 20 °С начинает заметно увеличиваться (до 9,08 мс).

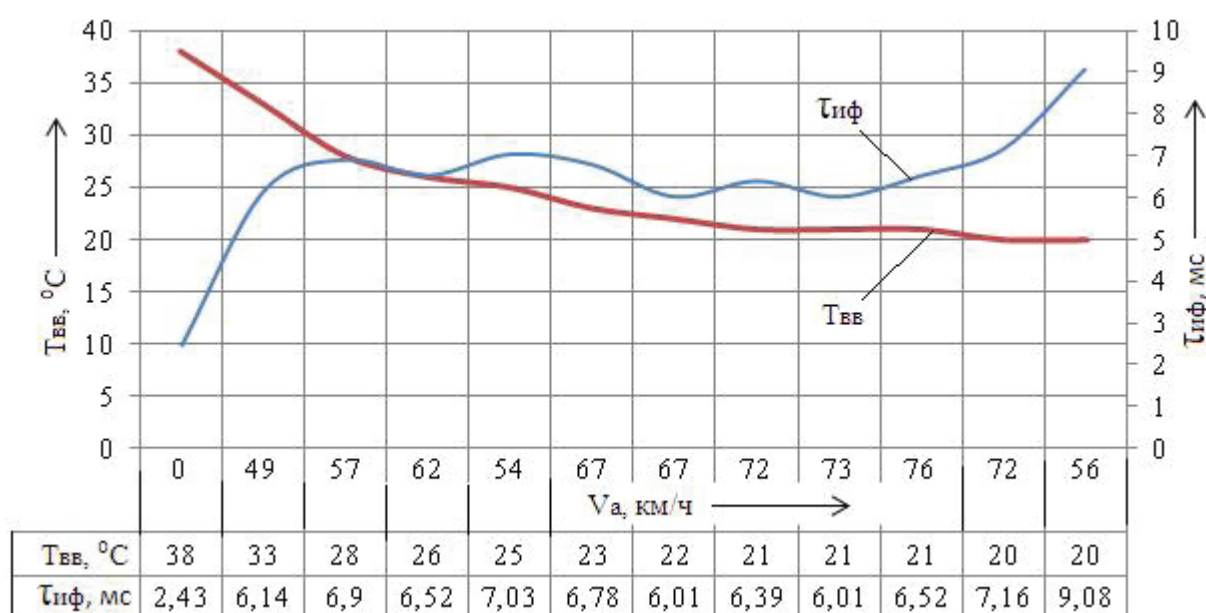


Рисунок 1 – График зависимости температуры воздуха на впускном коллекторе и длительности импульса открытия форсунок от скорости движения автомобиля на высоте 770 – 972 м над уровнем моря (в качестве примера показаны результаты экспериментальных исследований, проведенных в июле 2017 года на автомобиле Toyota Corolla Verso с механической трансмиссией)

Figure 1 – Diagram of the air temperature in the intake manifold and the pulse opening duration of the injectors from the vehicle speed at an altitude of 770 – 972 m above sea level (as an example, the results of experimental studies conducted in July 2017 on a Toyota Corolla Verso with a mechanical transmission)

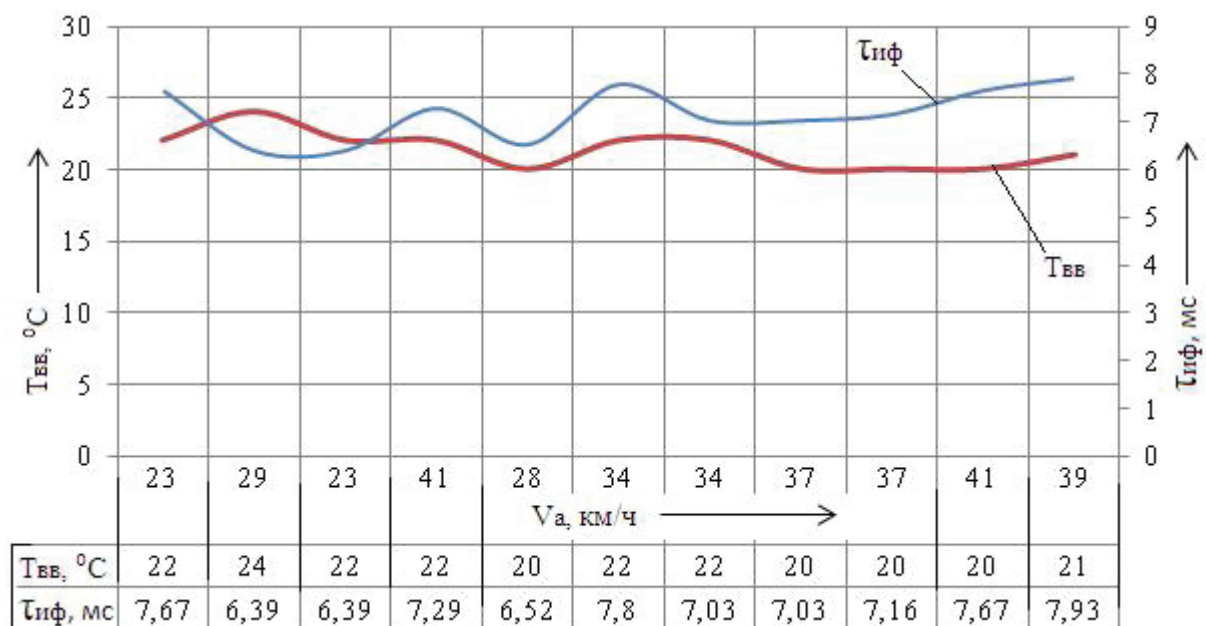


Рисунок 2 – График зависимости температуры воздуха на впускном коллекторе и длительности импульса открытия форсунок от скорости движения автомобиля на высоте 2656 – 3031 м над уровнем моря (в качестве примера показаны результаты экспериментальных исследований, проведенных в июле 2017 года на автомобиле Toyota Corolla Verso с механической трансмиссией)

Figure 2 – Diagram of the air temperature in the intake manifold and the pulse opening duration of the injectors from the vehicle speed at an altitude of 2656 – 3031 m above sea level (as an example, the results of experimental studies conducted in July 2017 on a Toyota Corolla Verso with a mechanical transmission)

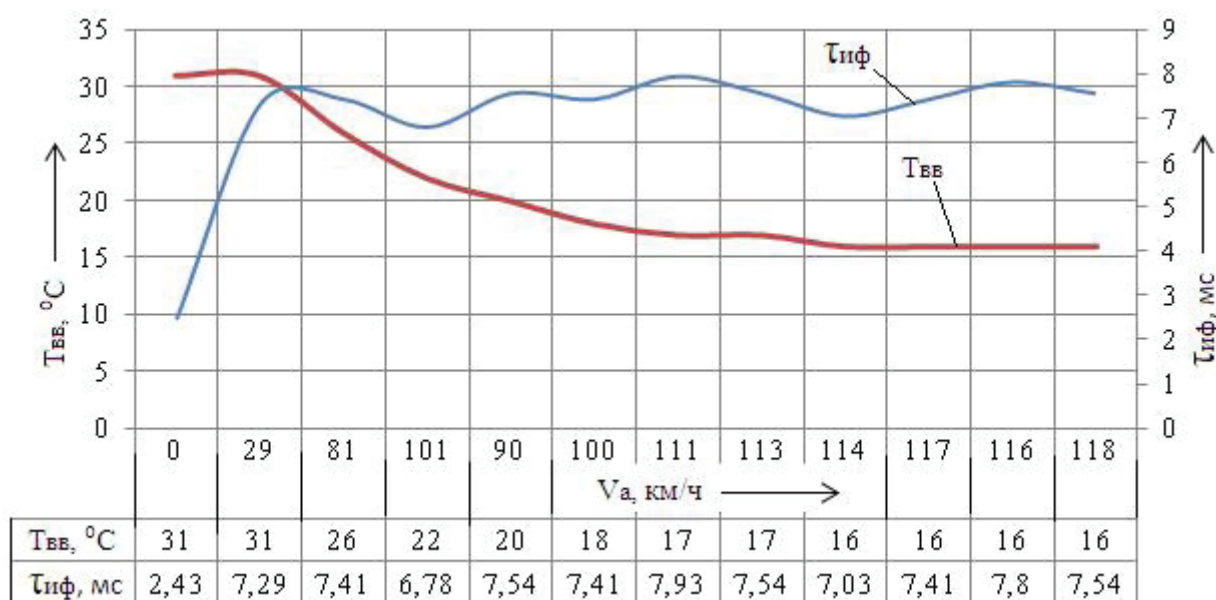


Рисунок 3 – График зависимости температуры воздуха на впускном коллекторе и длительности импульса открытия форсунок от скорости движения автомобиля на высоте 2600 – 2700 м над уровнем моря (в качестве примера показаны результаты экспериментальных исследований, проведенных в июле 2017 года на автомобиле Toyota Corolla Verso с механической трансмиссией)

Figure 3 – Diagram of the air temperature in the intake manifold and the pulse opening duration of the injectors from the vehicle speed at an altitude of 2600 – 2700 m above sea level (as an example, the results of experimental studies conducted in July 2017 on a Toyota Corolla Verso with a mechanical transmission)

На графике (см. рисунок 2) показаны изменения показателей температуры воздуха на впуске и длительности импульса открытия форсунок в зависимости от скорости движения автомобиля на высокогорном участке автомобильной дороги Бишкек – Ош (122 – 128 км, движение автомобиля на подъем в сторону перевала Тоо-Ашуу). Из графика видно, что температура воздуха на впуске практически остается неизменной при движении автомобиля на подъем в местности со сложным рельефом. Также показатели длительности импульса открытия форсунок изменяются незначительно (на 19 %). Из-за сложности рельефа местности автомобиль движется равномерной скоростью на 2-й и 3-й скоростях переключения передач и поднимается равномерно на подъем.

На графике (см. рисунок 3) показаны изменения показателей температуры воздуха на впуске и длительности импульса открытия форсунок в зависимости от скорости движения автомобиля на равнинном участке Суусамырской долины автомобильной дороги Бишкек – Ош (185 – 195 км). Из графика видно, что с момента трогания автомобиля с места до развития скорости 118 км/ч температура воздуха на впуске снижается с 31 °C до 16 °C, т.е. на 50%. Длительность импульса открытия форсунки при температуре воздуха на впуске 16 °C увеличивается на 69% (до 7,8 мс).

Снижение температуры воздуха на впуске объясняется тем, что при движении автомобиля с большой скоростью увеличивается лобовое сопротивление воздуха на автомобиль, т.е. давление, оказываемое воздухом на обтекаемую площадь автомобиля, увеличивается, что приводит к повышению плотности воздуха на впуске.

С другой стороны, снижение температуры воздуха на впуске можно объяснить уравнением состояния идеального газа Клапейрона – Менделеева, где плотность воздуха (газа) определяется по формуле

$$\rho = \frac{P}{RT}, \text{ кг/м}^3$$

где P – давление воздуха, Па; R – универсальная газовая постоянная Дж/К·моль; T – абсолютная температура воздуха (газа), К.

Из формулы видно, что при понижении температуры плотность воздуха во впускном коллекторе двигателя автомобиля повышается.

Как видно из графиков (см. рисунок 1 и 3), на изменение температуры воздуха во впускном коллекторе значительно влияет скорость движения автомобиля. А снижение температуры воздуха на впуске с увеличением скорости движения автомобиля, в свою очередь, влия-

ет на испаряемость впрыскиваемого бензина форсункой во впускной коллектор и тем самым влияет на качество и состав топливовоздушной смеси.

Ухудшение испаряемости топлива влияет на экологические и экономические показатели автомобиля. Кроме того, низкая испаряемость в холодную погоду увеличивает продолжительность запуска двигателя, и поскольку топливовоздушная смесь значительно обогащена, увеличиваются выбросы несгоревших углеводородов с отработавшими газами. При прогреве двигателя недостаточная испаряемость бензина приводит к увеличению времени прогрева, перерасходу топлива и увеличению количества выбросов несгоревших углеводородов и оксида углерода [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе, на рисунках 1, 2 и 3, авторами в качестве примера показана эксплуатация автомобиля в жаркое время года в условиях Кыргызской Республики. На основании графиков можно сделать вывод, что движение автомобиля на больших скоростях на равнинных участках дороги приводит к значительному снижению температуры во впускном коллекторе двигателя. Исключением является движение автомобиля на подъем, когда на скорость движения автомобиля оказывают влияние сложный рельеф местности и параметры горной и высокогорной автомобильной дороги, такие как кривые в плане с малыми радиусами закругления, часто повторяющиеся продольные уклоны.

Но следует отметить, что электронные системы управления двигателем современных автомобилей, оснащенные различными датчиками для обеспечения оптимального состава топливовоздушной смеси, не смотря на свои технические совершенства, не полностью учитывают переменный характер внешней среды, который проявляется при эксплуатации автомобиля в различных условиях. Например, в условиях жаркого климата температура воздуха во впускном коллекторе при работе двигателя на холостом ходу и на частичной нагрузке поднимается до 80 °С, а в условиях низких температур и в горных и высокогорных условиях в холодное время года снижается до 10 °С. Поэтому возникает необходимость в разработке метода или устройства для создания и обеспечения оптимального температурного режима поступающего воздуха во впускной коллектор двигателя, чтобы обеспечить приготовления оптимального состава топливовоздушной смеси для подачи в цилиндры двигателя. В этом направлении в настоящее время авторами данной статьи проводятся работы по созданию устройства по поддержанию

оптимального температурного режима воздуха во впускном коллекторе двигателя при эксплуатации автомобиля в различных условиях в разные погодные ситуации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rolf Isermann. Engine Modeling and Control. Modeling and Electronic Management of Internal Combustion Engines. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014. 646 p.
2. Уве Рокош. Бортовая диагностика. Перевод с нем. ООО «СтарСПб». М.: ООО Изд-во «За рулем», 2013. 224 с.
3. Ерохов В.И. Системы впрыска бензиновых двигателей (конструкция, расчет, диагностика): учебник для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2011. 552 с.
4. Bosch. Системы управления бензиновыми двигателями. Перевод с немецкого. М.: ООО Изд-во «За рулем», 2005. 432 с.
5. Лещенко В.П. Кислородные датчики. М.: Легион-Автодата, 2003. 112 с.
6. M-STEP. MPI – Система многоточечного впрыскивания [Электронный ресурс]. URL: <http://files.mek1.ru/file/faq/1.pdf/> (дата обращения: 10.04.2018).
7. Карнаухов В.Н. Оптимизация мощности нагревательного элемента для поддержания оптимальной температуры воздуха во впускном коллекторе ДВС // Электронный научный журнал: Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13575>.
8. Карнаухова И.В. Определение оптимальной температуры воздуха во впускном коллекторе двигателя // Вестник СибАДИ. 2014. № 3 (37). С. 7 – 12.
9. Емелькин Г. Диагностика: параметры впрыска ВАЗ-2110. За рулем.pdf [Электронный ресурс]. URL: https://www.zr.ru/content/articles/12508-diagnostics_parametry_vpryska_vaz-2110_dopros_s_pristrastijem/ (дата обращения: 21.12.2018).
10. Акунов Б.У., Давлятов У.Р. Анализ зависимости длительности импульса открытия форсунки двигателя от условий эксплуатации автомобиля // Автомобильная промышленность. 2017. №9. С. 13 – 17.
11. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. М.: Транспорт, 1990. 135 с.
12. Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте. Методические рекомендации. М.: КНОРУС, 2010. 160 с.

REFERENCES

1. Rolf Isermann. Engine Modeling and Control. Modeling and Electronic Management of Internal

Combustion Engines. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014. 646 p.

2. Uve Rokosh. *Bortovaja diagnostika* [On-board diagnostics]. Perevod s nem. ООО «StarSPb». Moscow, ООО Izdatel'stvo «Za rulem», 2013. 224 p.

3. Erohov V.I. *Sistemy vpryska benzinovyh dvigatelej (konstrukcija, raschet, diagnostika)*. [Gasoline engine injection systems (design, calculation, diagnostics)]. Moscow, Gorjachaja linija-Telekom, 2011. 552 p. (in Russian)

4. Bosch. *Sistemy upravlenija benzinovymi dvigateljami* [Gasoline engine control systems]. Perevod s nem. Moscow, ООО Izdatel'stvo «Za rulem», 2005. 432 p. (in Russian).

5. Leshhenko V.P. *Kislorodnye datchiki* [Oxygen sensors]. Moscow, Legion-Avtodata, 2003. 112 p. (in Russian)

6. *M-STEP. MPI – Sistema mnogotochechnogo vpryskivaniya* [M-STEP. MPI – Multi point injection system]. Available at: URL: <http://files.mek1.ru/file/faq/1.pdf/> (accessed 10.04.2018).

7. Karnauhov V.N. Optimizacija moshhnosti nagrevatel'nogo jelementa dlja pod-derzhaniya optimal'noj temperatury vozduha vo vpusknom kollektore DVS [Optimization of the heating element power for maintenance of optimum air temperature in an inlet DVS header]. *Jelektronnyj nauchnyj zhurnal: Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, no 3. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13575>.

8. Karnauhova I.V. Opredelenie optimal'noj temperatury vozduha vo vpusk-nom kollektore dvigatelja [Determination of optimum air temperature in an inlet engine header]. *Vestnik SibADI*, 2014, no 3 (37), pp. 7 – 12. (in Russian)

9. Emel'kin G. *Diagnostika: parametry vpryska VAZ-2110* [Diagnosis: VAZ-2110 injection parameters]. *Za rulem*.rf Available at: https://www.zr.ru/content/articles/12508-diagnostika_parametry_vpryska_vaz-2110_dopros_s_pristrastijem/ (accessed 21.12.2018).

10. Akunov B.U., Davljatov U.R. *Analiz zavisimosti dlitel'nosti impul'sa otkrytija forsunki dvigatelja ot uslovij jekspluatacii avtomobilja* [Analysis of the pulse duration dependence of the engine nozzle opening on the operating vehicle conditions]. *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 2017, no 9, pp. 13 – 17. (in Russian)

11. Govorushhenko N.Ja. *Jekonomija topliva i snizhenie toksichnosti na avtomobil'nom transporte* [Fuel economy and drop of toxicity on the motor transport]. Moscow, Transport, 1990. 135 p. (in Russian)

12. *Normy rashoda topliv i smazochnyh materialov na avtomobil'nom transporte* [Rates of fuel consumption and lubricants for road transport]. Metodicheskie rekomendacii. Moscow, KNORUS, 2010. 160 p. (in Russian)

Поступила 29.01.2019, принята к публикации 22.02.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Акунов Бакытбек Убайдиллаевич (г. Бишкек, Кыргызская Республика) – канд. техн. наук, доц. кафедры «Автомобильный транспорт» Кыргызского государственного технического университета (КГТУ) им. И. Раззакова, ORCID iD 0000-0001-6439-9223 (720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова, 66, e-mail: akunov1@yandex.ru).

Касымбеков Кубанычбек Джаныбекович (г. Бишкек, Кыргызская Республика) – магистрант кафедры «Автомобильный транспорт» Кыргызского государственного технического университета (КГТУ) им. И.Раззакова, ORCID iD 0000-0002-8013-3617 (720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bakytbek U. Akunov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Automobile Transport Department, Kyrgyz State Technical University (KSTU) named after I. Razzakov, ORCID iD 0000-0001-6439-9223 (720044, Kyrgyz Republic, Bishkek, 66, Ch. Aitmatov Ave., e-mail: akunov1@yandex.ru).

Kubanychbek Dj. Kasymbekov (Bishkek, Kyrgyz Republic) – Undergraduate Student of the Automobile Transport Department, Kyrgyz State Technical University (KSTU) named after I. Razzakov, ORCID iD 0000-0001-6439-9223 (720044, Kyrgyz Republic, Bishkek, 66, Ch. Aitmatov Ave.).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Акунов Б.У. Планирование, организация и проведение экспериментальных исследований при эксплуатации автомобиля в различных условиях.

Касымбеков К.Дж. Проведение экспериментальных исследований при эксплуатации автомобиля в различных условиях совместно с научным руководителем – Акуновым Б.У.

AUTHORS CONTRIBUTION

Bakytbek U. Akunov: planning, organization and conduction of experimental research on the vehicle operation in various conditions.

Kubanychbek Dj. Kasymbekov: conduction of experimental research on the vehicle operation in various conditions.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОБНОВЛЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В МАЛОМ ГОРОДЕ (НА ПРИМЕРЕ ПАТП)

Ч.Д. Шавыраа*, С.В. Балзанай

ФГБОУ ВО Тувинского государственного университета,
Россия, Республика Тыва,
*Shavyraa@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Для повышения конкурентоспособности предлагаемых на рынке услуг необходимо обновление устаревшего подвижного состава МУП ПАТП на современный и адаптированный для маломобильных пассажиров и резко-континентального климата. Более вместительные новые автобусы с высокими провозными возможностями позволят повысить качество оказываемых пассажирских услуг. Обновление подвижного состава является важным шагом для развития г. Кызыл. Разработан алгоритм определения очередности обновления автобусов. При этом рассмотрены положительные и отрицательные стороны кредита и лизинга приобретения транспортных средств.

Материалы и методы. В работе рассмотрен алгоритм выбора формы финансирования обновления подвижного состава с учетом специфики лизинга и кредита. Более детально рассмотрены источники финансирования. Для малого города актуально использование автобусов малой и особо малой вместимости.

Результаты. Был сравнен лизинг и кредит на покупку подвижного состава.

Обсуждение и заключение. В результате проведенных исследований наиболее эффективно использование лизинга по сравнению с кредитами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспорт, автобусы, план, обновление, лизинг, финансирование.

© Ч.Д. Шавыраа, С.В. Балзанай



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR UPDATING THE ROLLING-STOCK IN A SMALL CITY (USING THE PASSENGER MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE (PMTE) AS AN EXAMPLE)

C. Shavyraa, S. Balzanay
Tuvan State University,
Russia, Tuva
*Shavyraa@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. To increase the competitiveness of the services it is recommended to update the rolling-stock of PMTE, which would be adapted for the passengers with limited mobility and adjusted to the continental climate. Therefore, new buses with high carrying capacity would positively influence the passenger services' quality. Renewal of rolling-stock is an important step for the further development of the Kyzyl region. The authors developed the algorithm for the buses replacement prioritization. Moreover, the authors examined the positive and negative aspects of the credit and leasing process when buying vehicles.

Materials and methods. The paper presents the algorithm for choosing the form of the rolling-stock renewal financing, taking into account the leasing and credit specification. In addition, the authors consider the financing sources in details. As can be seen, it is important to use buses of small and very small capacity in a small city.

Results. As a result, the paper presents the comparison of the leasing and credit for rolling-stock purchase.

Discussion and conclusion. The conducted comparison shows that leasing is the most efficient process than credit.

KEYWORDS: transport, buses, plan, renewal, leasing, financing.

© C. Shavyraa, S. Balzanay



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

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы рынок автомобильного транспорта выпускает много новых моделей, которые по своим характеристикам не проигрывают автобусам иностранного производства. Для оказания безопасных, комфортабельных и привлекательных услуг пассажирам в малых городах рекомендуется обновление устаревшего подвижного состава автобусами средней и малой вместимости. Поддержание исправного и работоспособного состояния парка старых автобусов является трудоемким и экономически нецелесообразным процессом. Количество работ по техническому обслуживанию и ремонту на старые автобусы из года в год увеличивается.

В настоящее время микроавтобусы востребованы, т.к. по сравнению с автобусами большой вместимости обеспечивают большую прибыль и меньшие инвестиционные риски [1]. Изучение задачи замены транспорта является непростым и требует дополнительных знаний в области линейных алгоритмов [2].

Цель исследования. Целью исследования является разработка методики, позволяющей рассчитать наиболее выгодную политику замены автотранспортных средств за определенный период времени.

В связи с устареванием парка подвижного состава, отсутствием поддержки и финансовой помощи со стороны местной администрации предприятие «Кызылское пассажирское АТП» (ПАТП) приостановило свою деятельность 27 марта 2008 г. Данное предприятие перестало справляться с существующими пассажиропотоками г. Кызыла. Для обслуживания пассажиров были привлечены мелкие частные перевозчики, которые имели 1–2 автобуса. Частные перевозчики работают в условиях конкуренции на рынке [3], при этом имеют автобусы особо малой вместимости типа «Газель».

Перед администрацией города назрел вопрос о замене старых автобусов малой вместимости на более современные, вместительные. При этом должны быть учтены такие факторы, как ограниченные финансовые возможности частных перевозчиков, которые без дополнительной помощи со стороны властей не могут обновить свои транспортные средства. Республика Тыва находится на территории с резко-континентальным климатом, и здесь нужно использовать автобусы зимней комплектации или «северного» исполнения. Салон должен быть более устойчивым к морозам, с утепленным двигателем внутреннего сгорания, с измененной программой двигателя для легкого пуска.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

По мере использования подвижного состава пассажирского автотранспортного предприятия (ПАТП) автобусы нуждаются в ремонте как в результате естественного износа (выработались определенные детали и узлы), так и в результате непредвиденных обстоятельств (некачественное дорожное покрытие, дорожно-транспортное происшествие, бракованные запасные части и т.д.) [1, 4, 5, 6].

Поэтому перед администрацией предприятия стоит вопрос о приобретении запасных частей, эксплуатационных материалов, оплаты труда ремонтным работникам, простоя подвижного состава при проведении работ по ТО и ремонту, энергетических ресурсов. Необходимо также учитывать факт морального старения транспортных средств. Обновление парка ПС позволит оказывать более безопасные и своевременные услуги при передвижениях населения.

Разработан алгоритм планирования замены парка подвижного состава.

Схема планирования замены парка, состоящего из трех последовательных блоков, представленных на рисунке 1.

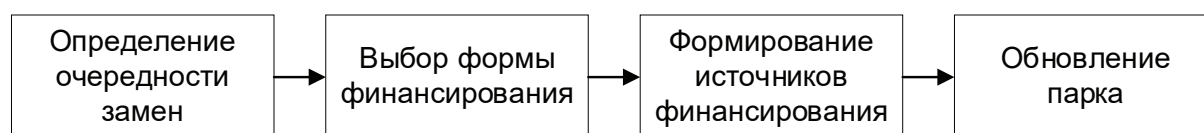


Рисунок 1 – Последовательность обновления парка подвижного состава

Figure 1 – Sequence of the rolling-stock renewal

ТАБЛИЦА
Износ парка подвижного состава МУП «Кызылготранс»
TABLE

Rolling-stock deterioration of the «Kyzylgotrans» municipal unitary enterprise (MUE)

Марка, модель	Количество автобусов	Количество автобусов, имеющих 100%-й амортизационный износ на 1.10.18 г.	Количество автобусов, имеющих 100%-й амортизационный износ на 1.01.19 г.
ПАЗ-672, ПАЗ-3205, Газель	60	20	1
ЛиАЗ-5256, МАРЗ-52661	16	13	3
Икарус	2	2	
Всего	88	35	4

Каждый из этих блоков может быть представлен в виде собственного алгоритма.

Блок «Определение очередности замен»

Следует отметить следующее:

- ликвидация, сдача в аренду и другие процедуры с существующими провозными возможностями при проектировании обновленного ПАТП, получающими статус излишних, должны быть проведены или запланированы до формирования графика замены парка подвижного состава. Естественно, в первую очередь за счет автобусов, выработавших свой ресурс;

- блок, отражающий изменение эксплуатационных затрат, должен учитываться только в случае необоснованного увеличения определенных их составляющих, вызывающих и изменения структуры затрат. Например, увеличение доли заработной платы в структуре затрат без соответствующего увеличения других статей, которое должно отразить соответствующий рост производительности труда, может быть вызвано социальными причинами, темпами роста инфляции и т.п. Этот блок может быть детализирован по статьям затрат, которые, в свою очередь, могут быть ранжированы по значимости той или иной составляющей для ПАТП с учетом влияния факторов внешней среды.

Из таблицы видно, что количество транспортных средств, имеющих предельный износ, составляет примерно 44%. Обслуживание населения г. Кызыла и близлежащих населенных пунктов только транспортными средствами

ПАТП невозможно, т.к. парк не будет справляться с потоками пассажиров в часы пик. В 2014 г. были приобретены 20 автобусов марки ПАЗ, 1 из которых после тяжелого ДТП был списан, а в 2018 г. – 20 автобусов. Поэтому в настоящее время можно сказать, что ПАТП имеет 39 автобусов, обслуживающих население не только г. Кызыл, но и всей Республики Тыва.

На рисунке 2 представлен алгоритм определения очередности замен.

Блок «Выбор формы финансирования»

Вопрос сравнения лизинга с альтернативными способами финансирования является одним из определяющих и лежит в основе выбора формы финансирования при замене подвижного состава. Только конкретные расчеты по конкретной лизинговой и кредитной сделкам дают возможность определить экономическую эффективность лизинга той или иной формы финансирования. Причин постоянного сравнения лизинга с кредитом несколько.

Во-первых, и лизинг, и кредит являются родственными и схожими по экономическому содержанию способами финансирования. И в том и в другом случае покупатель при недостатке собственных средств на покупку обращается к внешнему источнику средств, который обеспечивает оплату продавцу стоимости имущества и на основании отдельного договора дает покупателю возможность использовать это имущество и оплачивать его уже после начала эксплуатации.

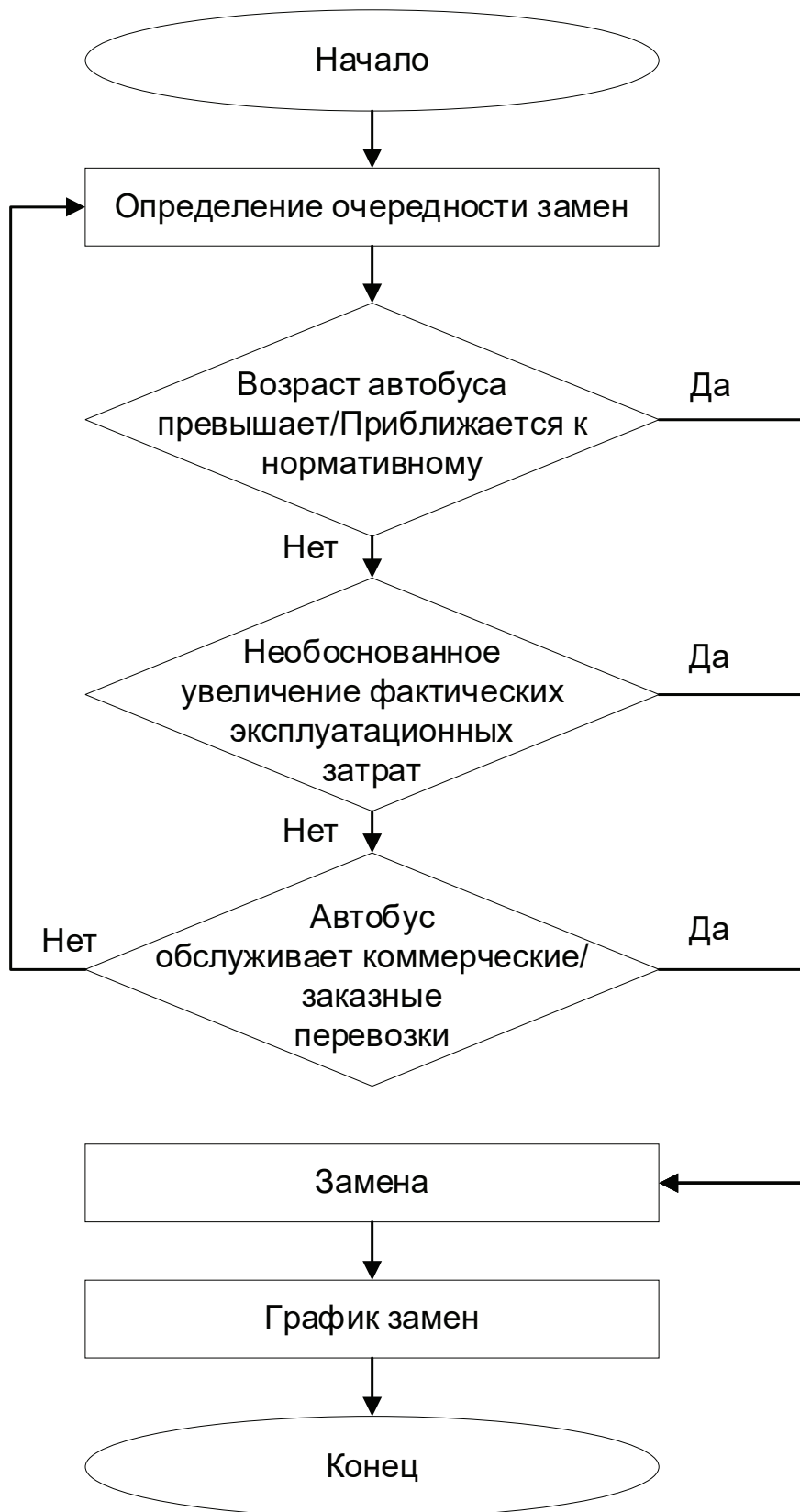


Рисунок 2 – Алгоритм определения очередности замен

Figure 2 – Replacement algorithm

Во-вторых, иногда и лизинг, и кредит в предложении от разных банков и лизинговых компаний являются равнодоступными и, следовательно, у лизингополучателей возникает объективная необходимость сравнить, какой из финансовых инструментов является более выгодным. И если на первый взгляд вариант кредита кажется менее затратным, то результаты расчетов могут доказать обратное.

Все сравнения лизинга с кредитом сводятся к сопоставлению так называемых «потоков платежей», которые показывают все составляющие денежных расходов и поступлений клиента при каждой из рассматриваемых альтернатив. Эти расходы и поступления следующие:

- расчеты за имущество: в случае прямой покупки и кредита – это единовременная выплата поставщику имущества, в случае лизинга – это платежи по договору лизинга;

- расчеты по налогам. Лизинг является чувствительным налогом финансовым продуктом. Вся выгода лизинга полностью зависит от интерпретации налоговой позиции клиента (платит ли он НДС, налог на прибыль). В соответствии с этим учитываются или не учитываются дополнительные к лизинговым потоки платежей по налогам. В данном расчете будем считать, что предприятие платит налог на прибыль и НДС.

- расчеты по кредиту: имеет место только при кредитной форме приобретения имущества. Проценты по кредиту относятся на себестоимость.

На рисунке 3 представлена схема выбора формы финансирования замены подвижного состава по результатам сравнения альтернативных вариантов.

Затраты лизингодателя по лизинговой сделке выражаются равенством [7]:

$$Лд = Бс + Пк + Ду, \quad (1)$$

где Бс – балансовая стоимость транспортного средства – предмета договора лизинга; Пк – плата за используемые кредитные ресурсы; Ду – плата за дополнительные услуги.

Затраты лизингополучателя по лизинговой сделке, т.е. сумма лизинговых платежей, рассчитывается по формуле [1]:

$$Лп = Ао + Пк + Кв + Ду + НДС + Тп, \quad (2)$$

где Ао – величина амортизационных отчислений, причитающихся лизингодателю в текущем году; Пк – плата за используемые кредитные

ресурсы; Кв – комиссионное вознаграждение лизингодателю; Ду – плата за дополнительные услуги; Тп – таможенная пошлина.

Плата за кредитные ресурсы рассчитывается по формуле[7]:

$$Пк = Вк \times Пс / 100, \quad (3)$$

где Вк – величина кредитных ресурсов, привлекаемых для лизинговой сделки, Пс – кредитная ставка, %.

В свою очередь величина кредитных ресурсов просчитывается по формуле[1]:

$$Вк = Сн + Ск / 2, \quad (4)$$

где Сн и Ск – стоимость объекта лизинга соответственно на начало и конец года.

Размер комиссионных выплат:

$$Пком = Вк \times Пв / 100, \quad (5)$$

где Пв – ставка комиссионного вознаграждения.

Факторы, влияющие на конечный результат: ежегодный доход от эксплуатации автомобиля; затраты на его ремонт и содержание; возможность замены транспортных средств и ее стоимость в любой момент времени [1,4,5].

Некоторые частные предприниматели не понимают разницы между кредитом и лизингом. В этом случае им необходима помощь специалистов из финансовых организаций, в частности банков. Также немаловажное значение в этом вопросе играет кредитная история клиента, возможности. Некоторые перевозчики не соглашаются на замену старых своих транспортных средств, мотивируя это тем, что при утилизации старых транспортных средств остаточная стоимость не соответствует тем ценам, которые в настоящее время могут получить за свои транспортные средства на автомобильном рынке. Некоторые перевозчики отказываются от кредита или лизинга транспортных средств, мотивируя это тем, что они в свое время могли бы купить на деньги, потраченные на автобусы, квартиру в определенном регионе. Покупка автобусов является довольно проблематичной именно для частных перевозчиков, которые не зарегистрированы должным образом в налоговых органах Республики Тыва и официально не имеют доходов. В свое время это может привести к выводу из «теневой» экономики многих мелких перевозчиков.

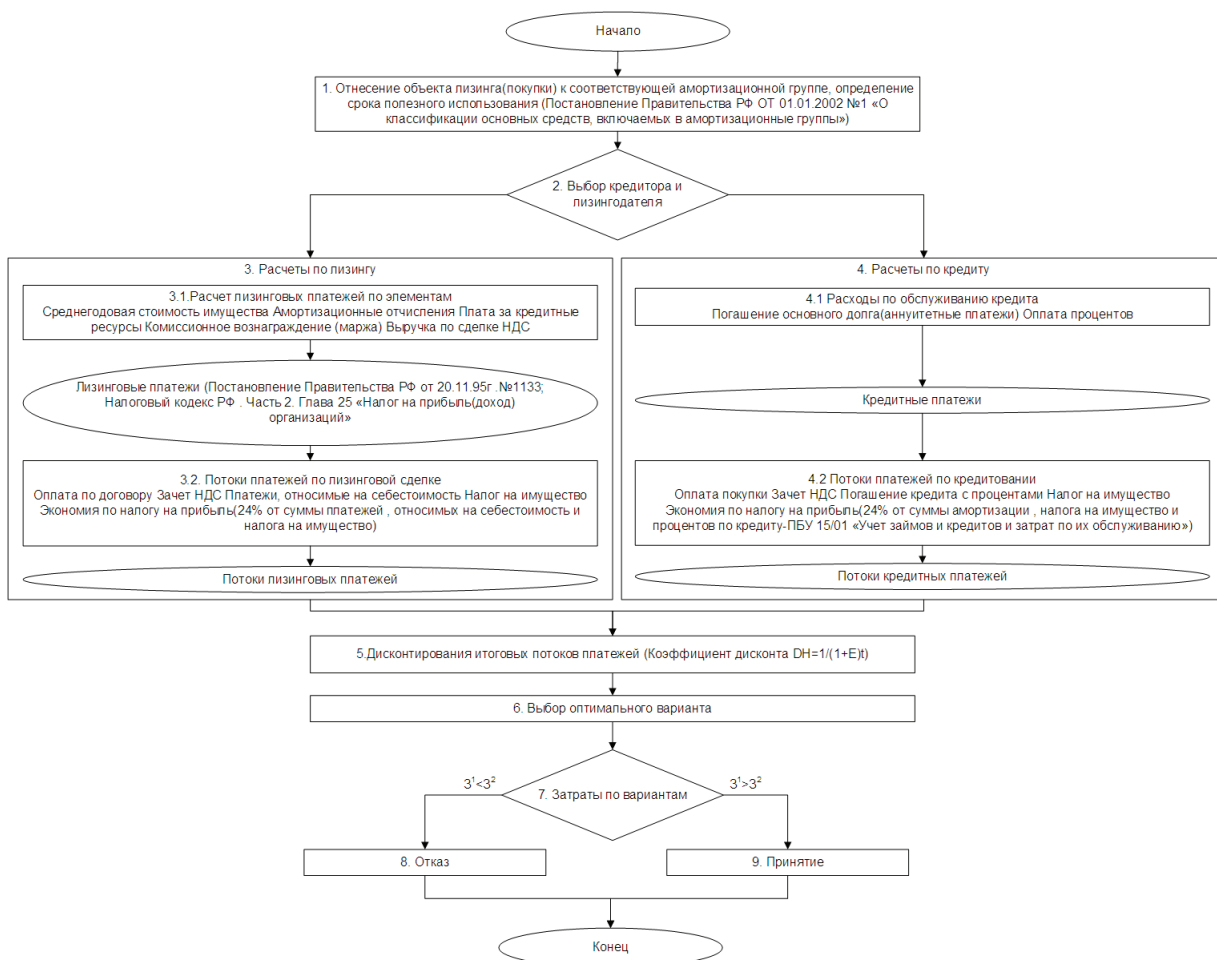


Рисунок 3 – Схемы расчетов по лизингу и кредиту

Figure 3 – Payment scheme for leasing and credit

Очевидно, что подобные расчеты должны производиться по конкретным условиям кредитования и лизинга всех потенциальных поставщиков данных услуг. Тогда результатом реализации этих схем будет не только форма финансирования, но и конкретно выбор лизингодателя или кредитора.

Источники финансирования

При замене подвижного состава потребность в финансировании возникает в первую очередь при приобретении в лизинг, для выплаты авансового платежа (20%), а также при повторной покупке в кредит, когда структура капитала МУП, как отмечалось, не позволит привлечь достаточную сумму кредита. Возникает необходимость поиска дополнительных источников, среди которых и средства местного бюджета, и частный капитал, и свободные средства обслуживаемых предприятий. Задача анализа подобных источников в данном исследовании не стоит, однако очевидно, что

такой важный блок должен быть включен в алгоритм планирования плана замены парка.

Собственные финансы предприятия, формируемые за счет прибыли и дотаций, обязательно должны быть предусмотрены в качестве источника средств. При этом учитывается факт целесообразности начала обновления парка с тех автобусов, которые реализуют платные (заказные и коммерческие перевозки), то есть приносят прибыль. На сегодняшний день этот вид перевозок обслуживает уже обновленный подвижной состав.

На рисунке 4 представлен алгоритм формирования источников финансирования обновления (замены) парка подвижного состава МУП «Кызылгортранс».

Следует отметить, что конкретная очередность обращения к различным источникам финансирования возможна только на основе сравнительного анализа их эффективности аналогично сравнения кредита и лизинга.

Эффективным инструментом достижения стратегических целей предприятия может стать применение системного подхода, методов бережливого производства. В подтверждение этому рассмотрены работы, посвященные оценке опыта и эффективности реализованных проектов сокращения потерь на транспорте [4, 8, 9].

В 2017 г. транспортные услуги в общем объеме платных услуг автобусами ПАТП населения в г. Кызыле занимали 17,5%. Доля услуг, оказанных физическими лицами-предпринимателями, в общем объеме транспортных перевозок составила более 80%, а объем инвестиций в модернизацию объектов социальной инфраструктуры – не более 1%.¹ Развитие инфраструктуры необходимо для стимулирования экономического роста. По расчетам Всемирного Банка, 10% увеличения финансовых вложений в инфраструктуру обеспечивает 1% роста экономики [10]. Из таблицы видно, что в 2018 г. было закуплено 20 автобусов на паях с мэрией г. Кызыла. В планах Правительства Республики и мэрии закупка 20 новых автобусов для обслуживания населения не только г. Кызыла, но и районов Республики Тыва. При этом необходима на транспортных средствах для контроля работы перевозчиков различных форм собственности, работающих на маршрутах г. Кызыла, установка системы «Эра-Глонасс»[11]. Для более качественной и полной работы программы нужно бережное отношение населения к транспортным средствам, своевременное техническое обслуживание и текущий ремонт. При этом должно быть предусмотрено обеспечение данных транспортных средств с необходимой номенклатурой запасных частей [12], эксплуатационных материалов и др.

В процессе эксплуатации, поступления и списания подвижного состава возрастная структура парка автомобилей меняется [13]. Старение парка транспортных средств может приводить не только к снижению эффективности работы транспортных компаний, но и к росту аварийности на транспорте. В частности, по данным Росстата, число дорожно-транспортных происшествий по причине эксплуатации технически неисправных транспортных средств за 2013–2015 гг. уже выросло в 1,7 раза [14].

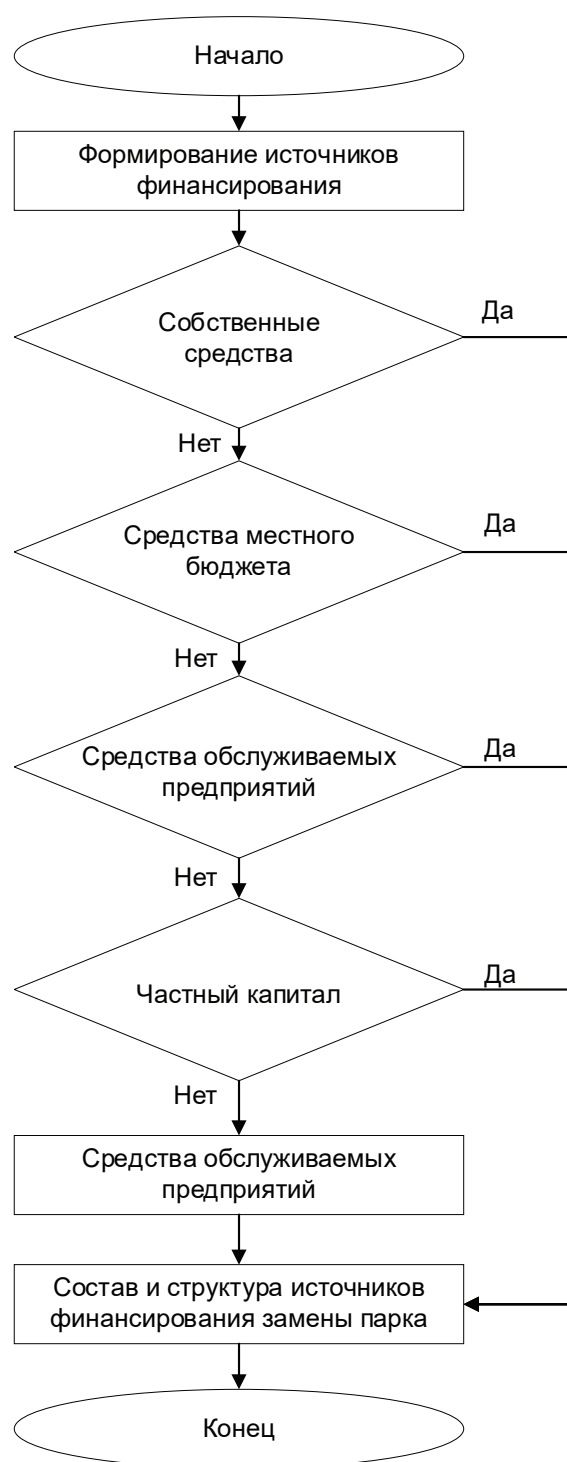


Рисунок 4 – Алгоритм формирования источников финансирования

Figure 4 – Algorithm of the financing sources' formation

¹ О прогнозе социально-экономического развития Республики Тыва на 2015 год и плановый период 2016 и 2017 годов <http://gov.tuva.ru/content/1605/> (дата обращения: 29.11.2018 г.)

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для г. Кызыла, где преобладает резко-континентальный климат, при закупке транспортных средств учитывается такой фактор, как температура воздуха в зимнее и летнее время.

В данной статье рассмотрено поэтапное обновление транспортных средств. Составлен алгоритм определения очередности обновления транспортных средств, алгоритм формирования источников финансирования. Из таблицы видно, что из 88 автобусов, которые имеются в ПАТП, 39 автобусов подлежат списанию, т.к. они имеют 100%-ный амортизационный износ. Также составлены схемы расчетов по лизингу и кредиту.

В соответствии с Федеральным законом № 220-ФЗ от 13.07.2015,² регулирующим деятельность общественного транспорта и обеспечивающим качественное обслуживание населения, необходимо учесть факт открытого конкурса, при котором выбирается наиболее выгодное для пассажиров и администрации предложение.

В частности, муниципальные предприятия могут выиграть открытый конкурс, предложив минимальную плату за проезд при качественном выполнении перевозок на обновленном подвижном составе.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведена встреча с руководителем ПАТП и обсужден вопрос по замене изношенных транспортных средств современными, с пониженной платформой и выполненной в «северном» исполнении для обслуживания населения г. Кызыла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обновление подвижного состава в г. Кызыле 20 автобусами ПАЗ вызвало интерес у населения к муниципальному транспорту. Особое место занимают дети школьного возраста, которые учатся в гимназиях, лицеях и в кадетской школе, студенты, пенсионеры, т.е. социально незащищенные слои населения.

Частные перевозчики не спешат обновить транспортные средства на более комфортабельные и адаптированные для резко-континентального климата в силу того, что такие автобусы стоят довольно дорого. Стоимость

утепленных автобусов с пониженной платформой, с кондиционером колеблется от 2 млн 500 тыс. руб. и выше. Без финансовой поддержки со стороны местного бюджета, обслуживаемых предприятий и других источников обновление транспортных средств затруднительно. Также необходимо провести разъяснительные работы с перевозчиками, приглашать консультантов из банков и лизинговых компаний.

Для повышения привлекательности городского транспорта для пассажиров необходимо внедрение ряда мер по эффективному использованию подвижного состава, рекламе в местном телевидении и интернет-ресурсах об оказываемых услугах и маршрутах города.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сорокин С.В., Каспер М.Е. Перспективы развития общественного пассажирского транспорта города Омска // Вестник СибАДИ. 2015. № 5(45). С. 38–44. [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2015-5\(45\)-38-4](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2015-5(45)-38-4)
2. Фишер А.В., Дьяченко Р.А., Лоба И.С. Организация хранения хронологических данных в базах данных систем мониторинга и прогнозирования // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 79. С. 271–280.
3. Шавыраа Ч.Д., Горев А.Э. Организационные преобразования в сфере городского пассажирского транспорта в городе Кызыле Республики Тыва // Автотранспортное предприятие. 2009. С.18–20.
4. Ефимова О.В., Морозов В.А. Технология непрерывного совершенствования бизнес-модели перевозочной деятельности по методу POP// Экономика железных дорог. 2011. № 4. С. 35 – 41.
5. Сидорова В.Н. Обоснование выбора способа передвижения населения в условиях города // Вестник КузГТУ. 2015. Г,В №6. С. 243 – 247.
6. Кубарев А.И. Надежность в машиностроении. Москва : Издательство стандартов, 1989. 224 с.
7. Спирина Т.В., Карпунин А.Ю. Лизинг – современное состояние и перспективы развития // Международный журнал социальных и гуманитарных наук. 2016. Т. 5. №1. С. 91–94.
8. Ефимова О.В., Кузьмина Л.В., Калини-

² Федеральный закон Российской Федерации от 13 июля 2015 года № 220-ФЗ «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации».

на Д.В. Эффекты бережливого производства // Мир транспорта. 2012. № 5. С. 62–67.

9. Горяева И.А., Горяева Е.Н. Зависимость затрат на запасные части от возраста подвижного состава автомобильного транспорта // Вестник ЮУрГУ. 2012. № 44. С. 185–186.

10. Шонбергер Р. Японские методы управления производством. Москва: Экономика, 1988. 215 с.

11. Shavyraa Ch.D., Kara-Sal B.S. Optimization methodology of interurban transport routes of automobile passenger transport // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 6-2 (72). С. 64–66.

12. Филатов М.И. Булатов С.В. Определение оптимального размера партии поставки запасных частей на автотранспортное предприятие // Автотранспортное предприятие. 2016. № 1. С. 46–48.

13. Балгабеков Т.К. Влияние возрастной структуры автопарка на эффективность автотранспортного предприятия // Труды БГТУ, 2017, серия 1, №2. С.225–231.

14. Возрастная структура парка транспортных средств в России // Институт комплексных стратегических исследований. Выпуск 19 (48). 2016. mail@icss.ac.ru (дата обращения: 10.12.2018).

REFERENCES

1. Sorokin S.V., Kasper M.E. Perspektivy razvitiya obshchestvennogo transporta goroda Omska [Prospects for the development of public transport of Omsk]. *Vestnik SibADI*, 2015; no 5(45), pp. 38–44 [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2015-5\(45\)-38-44](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2015-5(45)-38-44). (in Russian).

2. Fisher A.V., D'jachenko R.A., Loba I.S. Organizacija hranenija hronologicheskikh dannyh v bazah dannyh sistem monitoringa i prognozirovaniya. *Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agarnogo universiteta*, 2012, no 79, pp. 271–280. (in Russian).

3. Shavyraa Ch.D., Gorev A.E. Organizasionnyie preobrazovaniya v sfere gorodskogo passagirskogo transporta v gorode Kyzyle Respubliki Tyva [Organizational transformations in the sphere of urban passenger transport in Kyzyl of the Tuva Republic]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2009, pp.18–20 (in Russian).

4. Efimova O.V., Morozov V.A. Tehnologija nepreryvnogo sovershenstvovaniya biznes-modeli perevozochnoj dejatel'nosti po metodu POP [Technology of continuous improvement of

transportation activity business model by the POP method]. *Ekonomika zheleznyh dorog*, 2011, Iss. 4, pp. 35–41. (in Russian).

5. Sidorova V.N. Obosnovanie vybora sposoba peredvigenia naselenia v usloviah goroda [Justification of the choice of the method of the population movement in a city]. *Vestnik of KuzGTU*, 2015, no 6, pp. 243–247 (in Russian).

6. Kubarev A.I. *Nadegnost v mashinostrenii* [Reliability in engineering]. Moscow: Standards Publishing House, 1989. 224 p. (in Russian).

7. Spirina T.V., Karpunin A.Yu. Leasing – sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya [Leasing - current state and development prospects]. *International Journal of Social and Human Sciences*. 2016, Vol. 5, no1, pp. 91–94 (in Russian).

8. Efimova O.V., Kuzmina L.V., Kalinina D.V. Effecty bereglivogo proizvodstva [Effects of lean production] // *World of Transport*, 2012, no 5, p. 62–67 (in Russian).

9. Goryaeva I.A., Goryaeva E.N. Zavisimost zatrat na zapasnyie chasti ot vozrasta podvignogo sostava avtomobilnogo transporta [Dependence of the spare parts cost on the age of the rolling-stock]. *Vestnik SUSU*, 2012, no 44, pp. 185–186 (in Russian).

10. Schonberger R. *Yaponskie metody upravleniyem proizvodstva* [Japanese management methods production]. Richard Schonberger. Moscow: Economics, 1988. 215 p. (in Russian).

11. Shavyraa Ch.D., Kara-Sal B.S. Optimization methodology of interurban transport routes of automobile passenger transport / *International Scientific and Research Journal*, 2018, no 6-2 (72). pp. 64–66.

12. Filatov M.I., Bulatov S.V. Opredelenie optimalnogo razmera partii postavki zapasnyh chastey na avtotransportnom predpriyatii [Determination of the optimum lot size of spare parts for motor company]. *Motor transport enterprise*, 2016, no 1, pp. 46–48 (in Russian).

13. Balgabekov T.K. Vliyanie vozzrastnoy struktury avtoparka na effektivnost avtotransportnogo predpriyatia [Influence of the age structure of the rolling-stock on the efficiency of the motor transportation company]. *Proceedings of BSTU*, 2017 series 1, no 2, p.225–231 (in Russian).

14. Vozrastnaya struktura parka transportnyh sredstv v Rossii [Age structure of the vehicle fleet in Russia] / Institute for Comprehensive Strategic Studies. Issue 19 (48). 2016 (hidden) (accessed: 10.12.2018) (in Russian).

Поступила 01.12.2018 , принята к публикации 22.02.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шавыраа Чечек Деспи-ооловна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Транспортно-технологические средства» ФГБОУ ВО Тувинского государственного университета (667000, Россия, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Ленина, 36. e-mail: Shavyraa@mail.ru). ORCID: 0000-0003-1361-319.

Балзанай Сылдыс Васильевич – ст. преп. кафедры «Транспортно-технологические средства» ФГБОУ ВО Тувинского государственного университета (667000, Россия, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Ленина, 36. e-mail: b.syldys@yandex.ru). ORCID: orcid.org/0000-0001-5036-357X

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Shavyraa Chechek – Ph.D., Associate Professor of the Transport and Technological Facilities Department, Tuvan State University, ORCID: orcid.org/0000-0003-1361-3191 (667000, Russia, Tuva Republic, Kyzyl, 36, Lenin St., e-mail: Shavyraa@mail.ru).

Balzanay Syldys – Senior Lecturer of the Transport and Technological Facilities Department, Tuvan State University, ORCID: orcid.org/0000-0001-5036-357X (667000, Russia, Tuva Republic, Kyzyl, 36, Lenin St., e-mail: b.syldys@yandex.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Шавыраа Ч.Д. Анализ состояния вопроса. Рассмотрен алгоритм выбора формы финансирования обновления подвижного состава с учетом специфики лизинга и кредита. Детальное рассмотрение источников финансирования. Был сравнен лизинг и кредит на покупку подвижного состава.

Балзанай С.В. Помощь в составлении алгоритмов и схемы расчета по лизингу и кредиту.

AUTHORS CONTRIBUTION

Shavyraa Ch.D. analysis of the problem; algorithm for choosing the form of financing the renewal of rolling-stock, taking into account the specifics of leasing and credit; detailed consideration of the financial sources; leasing and credit for the rolling-stock purchase.

Balzanay S.V. assistance in the development of algorithms and schemes for the calculation of leasing and credit.

РАЗДЕЛ III.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 625.7/.8

КОНКУРЕНТНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ УКРЕПЛЕННЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Е.А. Бедрин¹, *Е.А. Бедрина²

¹ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

²ФГБОУ ВО ОмГТУ, г. Омск, Россия

*bedrina_ea@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Внедрение инновационных технологий и материалов в дорожном строительстве затруднено из-за ряда сдерживающих факторов, решение которых является актуальной задачей строительной отрасли. На примере технологии укрепления грунтов рассмотрены конкурентные преимущества инновационных материалов (полимерно-минеральная композиция «Nisoflok») относительно традиционных. Полученные результаты исследований показывают несоответствие нормативной и правовой баз в дорожной отрасли в части применения инновационных технологий (материалов) и говорят о необходимости скорейшей актуализации ее в ближайшее время с уточнением как характеристик материалов, так и методов оценки эффективности их применения. Тем самым представляется возможность повысить надежность принимаемых решений по ремонту и строительству автомобильных дорог, и, как следствие, увеличить срок их службы.

Материалы и методы. Работа проводилась в ходе строительных (ремонтных) работ опытных участков автомобильных дорог, а также после года их эксплуатации. При определении физико-механических и деформационных характеристик грунтов и материалов, укрепленных ПМК «Nisoflok», применялись стандартные методики испытаний, указанные в нормативных документах.

С учетом полученных значений характеристик исследуемых материалов выполнен расчет равнопрочных конструкций дорожных одежд при помощи лицензионного программного продукта. По разработанным вариантам конструкции рассчитана сметная стоимость строительства дорожных одежд.

Результаты. Результаты исследования применения полимерно-минеральной композиции позволяют сделать вывод об улучшении физико-механических характеристик укрепленного материала. При этом конкурентная способность применения добавки относительно стоимости ремонтных работ возрастает в разы.

Обсуждение и заключение. Результаты исследований показывают несоответствие нормативной и правовой баз в дорожной отрасли в части применения инновационных технологий (материалов) и говорят о необходимости скорейшей актуализации ее в ближайшее время с уточнением как характеристик материалов, так и методов оценки эффективности их применения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: технологии, инновационные материалы, автомобильные дороги, дорожная одежда, грунты, укрепление, полимерно-минеральная композиция, физико-механические свойства, инновационные материалы, нормативная база.

© Е.А. Бедрин, Е.А. Бедрина



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

COMPETITIVE ADVANTAGES OF INNOVATIVE MATERIALS WHILE THE CONSTRUCTION OF ROAD BASE STRENGTHENED LAYERS

E.A. Bedrin¹, *E.A. Bedrina²

¹Siberian State Automobile and Highway University,
Omsk, Russia

²Omsk State Technical University
Omsk, Russia

*bedrina_ea@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The introduction of innovative technologies and materials in road construction is difficult due to a number of constraints, the solution of which is an urgent task of the construction industry. The competitive advantages of innovative materials (polymer-mineral composition "NicoFloK") relative to traditional ones are considered on the example of the soil strengthening technology. The results of the research show the inconsistency of the regulatory and legal framework of the road sector in terms of the innovative technologies (materials) application. Such results suggest quickly update, refining both the characteristics of materials and methods for assessing the usage effectiveness. Thus, it is possible to increase the reliability of decisions made on the repair and construction of roads, and, as a consequence, increase their service.

Materials and methods. The research was carried out in the course of construction (repair) work on the pilot road sections, as well as after a year of their operation. The authors used the regulatory documents and standard test methods for determining the physic, mechanical and deformation characteristics of soils and materials reinforced by the NicoFloK. Taking into account the obtained characteristics of the materials, the authors calculated an equal strength pavement structure using a licensed software product. According to the developed design options, the estimated cost of pavement construction was also calculated.

Results. The results of the research allow authors to conclude that the physic and mechanical characteristics of the reinforced material are improved. At the same time, the competitive ability for the additive usage also increases.

Discussion and conclusions. The paper shows the inconsistency of the regulatory and legal framework in the road sector in terms of the application of innovative technologies (materials). Moreover, the authors suggest the need to quickly update, clarifying both the characteristics of materials and methods for evaluating the usage effectiveness.

KEYWORDS: technologies, innovative materials, highways, road pavement, soils, reinforcement, polymer-mineral composition, physical and mechanical properties, innovative materials, regulatory framework.

© E.A. Bedrin, E.A. Bedrina



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

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день можно выделить три основные сдерживающие фактора развития инновационных технологий в дорожной отрасли России:

- недостаток финансирования;
- кадровые проблемы;
- низкий уровень актуализаций нормативной и правовой баз.

Указанные факторы взаимосвязаны между собой (проявление одного незамедлительно активирует второй) и их совместное решение должно являться одной из приоритетных задач дорожной отрасли.

В настоящей статье авторы рассмотрели один из немногих вопросов указанной актуальной задачи, касающийся актуализации нормативной базы, на примере технологий укрепления грунтов и материалов.

На основе патентной информации в России насчитывается около 250 методов укрепления грунтов и материалов, и количество их растет с каждым годом.

Несмотря на большое количество методов укрепления грунтов и материалов в РФ, в качестве вяжущих веществ чаще всего применяют цемент. Данное обстоятельство связано с рядом сложностей по внедрению инновационных материалов в части нормативной базы:

- отсутствие в нормативных документах характеристик укрепленных грунтов инновационными материалами (модуля упругости, теплоизоляционных свойств и т.д.);
- отсутствие в нормативных документах четких условий, обеспечивающих производство работ по указанной технологии в неблагоприятные периоды года (например, обработка переувлажненных грунтов и выполнение работ при отрицательных температурах);
- отсутствие в нормативных документах обоснованных данных межремонтного срока конструкции дорожных одежд с применением укрепленных материалов с инновационными материалами;
- отсутствие в нормативных документах методики оценки стоимости строительства (ремонта) дорожных одежд с применением укрепленных материалов инновационными материалами в их жизненном цикле.

Указанные сложности приводят к принятию проектных решений по конструированию дорожной одежды автомобильной дороги с инновационными материалами, не отличающихся от решений с применением стандартных вяжущих, тем самым заранее делая приме-

нение инновационных материалов и технологий неконкурентоспособными по стоимости по сравнению с традиционными технологиями укрепления.

В настоящее время если не принять решений по изменению данной ситуации, возможно снижение эффективности применения технологии укрепления грунтов и материалов в целом из-за низких качественных характеристик готового продукта (низкая трещиностойкость, водостойкость, морозостойкость, истираемость покрытия и т.д.). Поэтому уже сейчас, чтобы получить новый виток развития рассматриваемой технологии и материалы с заданными свойствами при целенаправленном регулировании процессов, определяющих формирование их структуры, необходимо уточнить существующую нормативную базу и тем самым повысить надежность принимаемых решений по ремонту и строительству автомобильных дорог, а значит увеличить срок их службы.

В подтверждение наших доводов в статье приведем результаты внедрения инновационных материалов в технологии укрепления грунтов и материалов на примере полимерно-минеральной композиции (ПМК) «NicoFloK».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В статье приведены примеры исследования как укрепленного грунта, так и обработанных материалов. Исследования проводились в ходе выполнения строительных (ремонтных) работ опытных участков автомобильных дорог, а также после года их эксплуатации. При определении физико-механических и деформационных характеристик грунтов и материалов, укрепленных ПМК «NicoFloK» применялись стандартные методики испытаний, указанные в нормативных документах (ГОСТ 23558, ГОСТ 24452, ГОСТ 10060, ОДМ 218.5.007–2016 и др.). Испытания выполнялись сотрудниками аттестованных и аккредитованных лабораторий (испытательных центров) с использованием поверенного оборудования и приборов.

С учетом полученных значений характеристик исследуемых материалов выполнен расчет равнопрочных конструкций дорожных одежд при помощи лицензионного программного продукта «Indor Pavemet». По разработанным вариантам конструкции рассчитана сметная стоимость строительства дорожных одежд.

На основе выполненных испытаний и расчетов сделано заключение об эффективности и конкурентных преимуществах ПМК.

ТАБЛИЦА 1
ПОКАЗАТЕЛИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТА, УКРЕПЛЕННОГО ЦЕМЕНТОМ И ПМК «НИКОФЛОК»
TABLE 1
INDICATORS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE SOIL STRENGTHENED BY CEMENT AND REMK "NICO FLOK"

Пример 1. Результаты испытаний обработанного материала, выполненные в Волгоградской области сотрудниками ООО «СибИНДОР»											
Содержание компонентов укрепленной смеси, % массы			Модуль упругости материала, МПа	Плотность ρ, г/см³	Время твердения образцов, сутки	Предел прочности водонасыщенных образцов, МПа			Коэффициент морозостойкости K ^{F25}	Водонасыщение, %	Коэффициент жесткости R _{сж} /R _и
Смесь С2	Цемент	«Nico-flok»				на растяжение при изгибе R _i	на сжатие R _{сж}				
							после твердения	F25**			
94	6	-	550	2,14	7 28	0,68 1,09	2,9 4,9	3,7	0,75	9,2	4,49
94	6	1	770	2,16	7 28	0,91 1,45	3,7 6,0	4,8	0,80	7,1	4,13
Пример 2. Результаты испытаний укрепленного грунта, выполненные в Омской области сотрудниками ООО «Сибцентр»											
Содержание компонентов укрепленной смеси, % массы			Модуль упругости материала, МПа	Плотность ρ, г/см³	Время твердения образцов, сутки	Предел прочности водонасыщенных образцов, МПа			Коэффициент морозостойкости K ^{F25}	Водонасыщение, %	Коэффициент жесткости R _{сж} /R _и
Супесь	Цемент	«Nico-flok»				на растяжение при изгибе R _i	на сжатие R _{сж}				
							после твердения	F25**			
92	8	-	421	1,92	7 28	0,26 0,70	1,8 3,3	2,1	0,64	10,5	4,71
92	8	1	811	1,95	7 28	0,41 0,98	2,6 4,1	3,1	0,76	7,6	4,18
Пример 3. Результаты испытаний укрепленного грунта, выполненные сотрудниками государственного предприятия «БелдорНИИ»											
Содержание компонентов укрепленной смеси, % массы			Модуль упругости материала, МПа	Плотность ρ, г/см³	Время твердения образцов, сутки	Предел прочности водонасыщенных образцов, МПа			Коэффициент морозостойкости K ^{F15}	Водонасыщение, %	Коэффициент жесткости R _{сж} /R _и
Песок средней крупности	Цемент	«Nico-flok»				на растяжение при изгибе R _i	на сжатие R _{сж}				
							после твердения	F15**			
92	8	-	не опред.	1,99	7 28	0,69 1,04	2,9 4,5	4,0	0,89	8,9	4,33
92	8	1	не опред.	2,03	7 28	0,93 1,43	4,6 5,9	5,3	0,90	8,2	4,18
* - % массы смеси; ** - прочность образцов после 25 (15) циклов замораживания-оттаивания.											

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты испытаний укрепленного грунта и обработанного материала с применением ПМК «NicoFloK» представлены в таблице 1.

Значения показателей физико-механических свойств укрепленного грунта и обработанного материала показывают, что добавление ПМК «NicoFloK» позволяет:

- повысить предел прочности на сжатие водонасыщенных образцов от 22 до 31%;
- повысить предел прочности на растяжение при изгибе водонасыщенных образцов от 33 до 40%;
- уменьшить значение коэффициента жесткости исследуемых материалов;
- повысить значение коэффициента морозостойкости исследуемых материалов;
- повысить значение модуля упругости исследуемых материалов более чем на 40% (что превышает нормативное значение для дан-

ных марок укрепленных грунтов и обработанных материалов без применения ПМК).

Результаты выполненных полевых исследований приведены в таблице 2 и на рисунках 1, 2.

В работах по обследованию опытных участков автомобильных дорог (см. таблицу 2) установлено, что значения модуля упругости на поверхности дорожной одежды с применением ПМК «NicoFloK» больше на 35–70% по сравнению с участками автомобильных дорог без ПМК.

После года эксплуатации поверхность покрытия участка автомобильной дороги, где применялась смесь с добавлением добавки, меньше подвержена разрушениям, нежели без ее применения (см. рисунок 1). Значение модуля упругости на поверхности укрепленного слоя без ПМК уменьшилось после года эксплуатации на 14% и более, а с добавлением ПМК «NicoFloK» практически не изменилось.

ТАБЛИЦА 2
Значение модуля упругости
TABLE 2
Value of elasticsation module

Наименование объекта строительства (ремонта, реконструкции)	Наименование укрепленного грунта (обработанного материала), примененного при строительстве (ремонта, реконструкции) объекта	Организация, проводившая исследование	Модуль упругости на поверхности дорожной одежды со слоем укрепленного грунта (обработанного материала) после 28 суток его твердения, МПа	Модуль упругости на поверхности дорожной одежды со слоем укрепленного грунта (обработанного материала) после года эксплуатации, МПа
Автомобильная дорога «Называевск–Исикуль» в Исикульском муниципальном районе Омской области	Укрепленный грунт цементом (8 %)	ООО «Сиб-центр»	134	108
	Укрепленный грунт цементом (8 %) и ПМК «NicoFloK»		229	225
Автомобильная дорога «Быканов–Солоновка–Солонешное, граница Республики Алтай»	Обработанный материал (фрезерованный материал существующей дорожной одежды) цементом	ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»	-	237
	Обработанный материал (фрезерованный материал существующей дорожной одежды) цементом и ПМК «NicoFloK»		-	316
Основание площадки на объекте «Строительство нового аэровокзального комплекса международного аэропорт «Симферополь»	Обработанный материал (щебеночно-песчаная смесь) цементом (6 %)	ООО «Сиб-центр»	162	-
	Обработанный материал (щебеночно-песчаная смесь) цементом (6 %) и ПМК «NicoFloK»		218	-

Результаты испытания кернов, отобранных на опытных участках автомобильных дорог, показывают, что предел прочности на сжатие укрепленного грунта без ПМК снизился на 58%, а с применением ПМК – на 10% после года их эксплуатации (см. таблицу 1, пример 2 и рисунок 2).

В работах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] обоснована эффективность применения ПМК «Nisoflok» в дорожном строительстве. Результаты исследований в указанных работах и в настоящей статье позволяют сделать предположение (гипотезу), что применение ПМК «Nisoflok» способствует повышению срока службы как укрепленных слоев дорожной одежды, так и автомобильной дороги в целом. Пока данная гипотеза не подтверждена, рассмотрим обоснование эффективности ПМК «Nisoflok» при строительстве и ремонте автомобильных дорог за счет уменьшения толщины слоев дорожной одежды.

Эффективность ПМК рассмотрим на примере указанных характеристик обработанного материала в Волгоградской области (см.



Рисунок 1 – Общий вид участка автомобильной дороги после года эксплуатации

Figure 1 – General view of the road section after a year of operation

таблицу 1, пример 1). По заданию заказчика был выполнен сравнительный расчет равнопрочных конструкций автомобильной дороги IV технической категории (таблица 3).

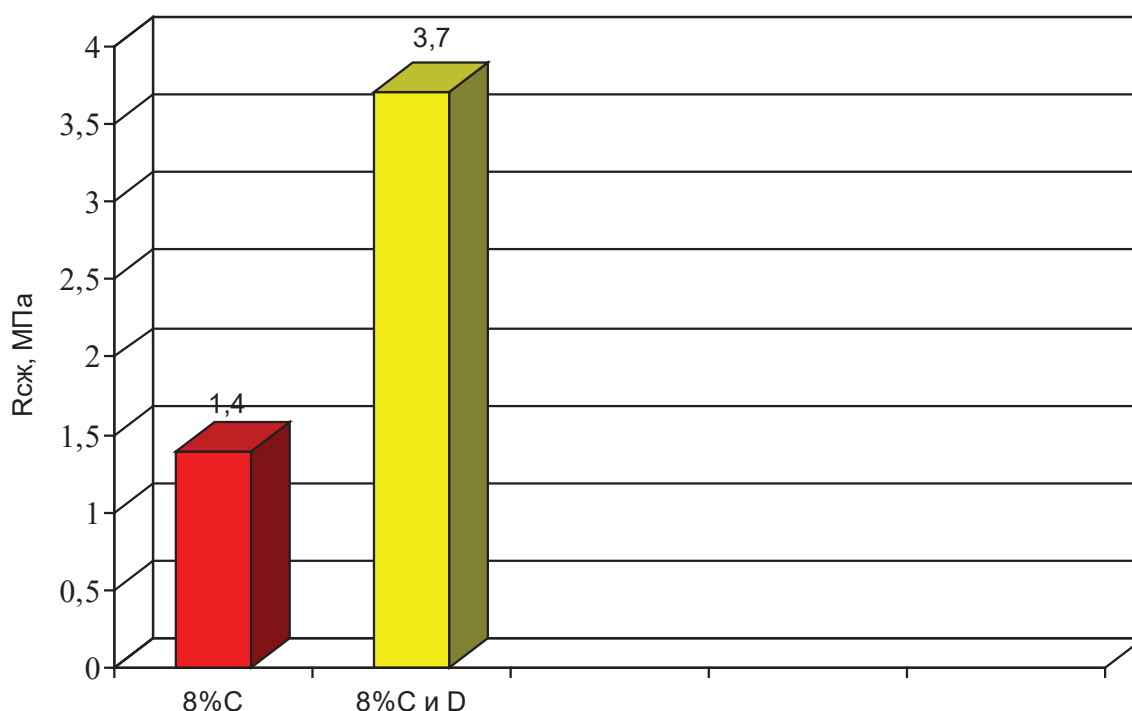


Рисунок 2 – Зависимость предела прочности на сжатие кернов, отобранных из укрепленного слоя дорожной одежды после года ее эксплуатации, от вида вяжущего: С – цемент; D – полимерно-минеральная композиция

Figure 2 – Dependence of the compressive strength of cores selected from the fortified pavement layer after a year of operation by the binder type: C – cement; D – polymer-mineral composition

ТАБЛИЦА 3
Варианты конструкций дорожных одежд для iv технической категории
TABLE 3
Road clothing designs for iv technical category

Материал слоя	Толщина слоя, см		
	1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант
Щебень фракционированный 40...80 (80...120) мм легкоуплотняемый с заклинкой фракционированным мелким щебнем (модуль упругости материала 450 МПа)	25	–	–
Щебеночно-песчаная смесь С2, обработанная цементом и ПМК «Nisoflok» (модуль упругости материала 770 МПа)	–	19	–
Щебеночно-песчаная смесь С2, обработанная цементом (модуль упругости материала 550 МПа)	–	–	23
Существующее основание дорожной одежды	Поверхностный модуль упругости 79 МПа		

По разработанным вариантам конструкций рассчитаны прямые затраты, накладные расходы и плановая прибыль средствами программного комплекса «АУРС-СибАДИ» ресурсным методом.

Расчеты произведены в базисных ценах 2000 года по сметным нормативам [10, 11, 12]. Переход к текущим ценам Волгоградской обла-

сти произведен индексом изменения сметной стоимости СМР в дорожном строительстве на III квартал 2011 года (без НДС) к ФЕР-2001: 5,4 [13].

Сметная стоимость строительства дорожных одежд по вариантам в региональных ценах на III квартал 2011 года на 1 км дороги приведена на рисунке 3.

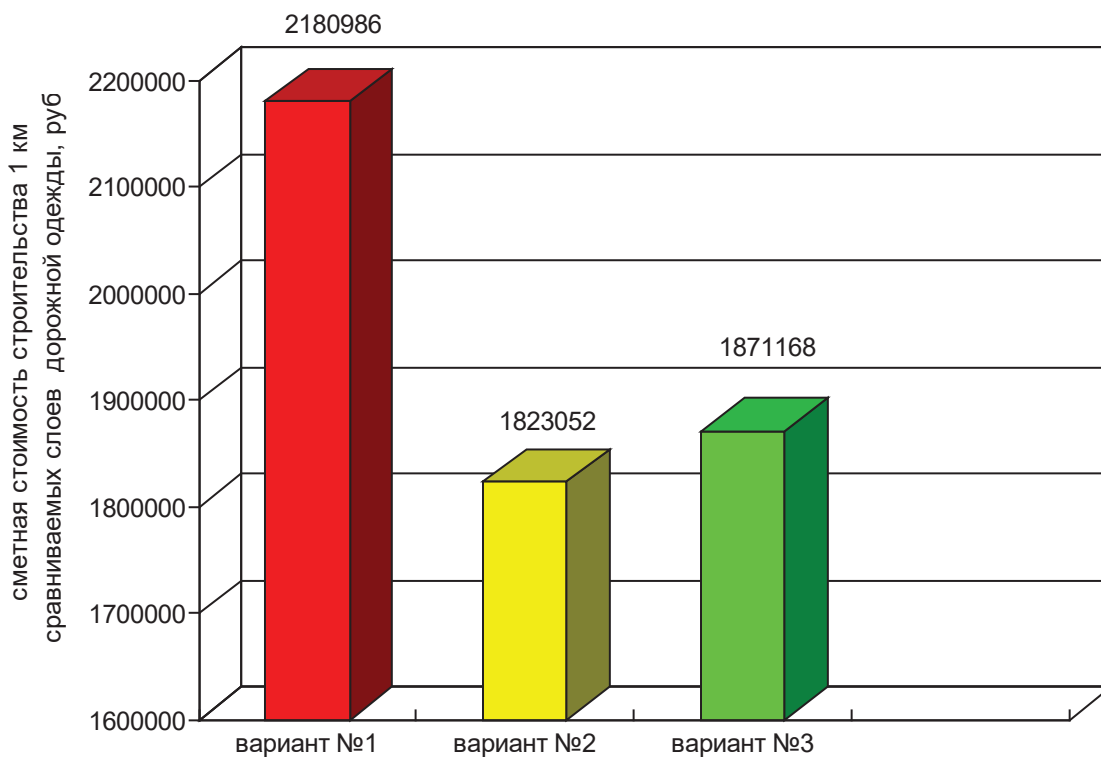


Рисунок 3 – Сравнение вариантов строительства слоев дорожной одежды по сметной стоимости

Figure 3 – Comparison of the construction variants for pavement layers by estimated cost

Результаты выполненных расчетов показывают эффективность применения ПМК «Nicoflo».

В работах [14, 15, 16] и в нашей статье показано, что применение инновационных материалов («Арматор», Мобет «Дор», «Ренолит», и др.) позволяет улучшить характеристики укрепляемых грунтов и обработанных материалов и снизить затраты на строительство (ремонт) укрепленных слоев дорожной одежды автомобильных дорог.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты (наших и других авторов) исследований применения ПМК (инновационных материалов) позволяют сделать вывод об улучшении физико-механических характеристик укрепленного грунта и обработанного материала, что позволяет, например, уменьшить толщину укрепленного слоя либо повысить срок службы дорожной одежды (относительно сравнения полученных значений модуля упругости как укрепленного материала, так и на поверхности его слоя с добавкой и без нее). При этом конкурентное преимущество применения ПМК, относительно стоимости строительных или ремонтных работ возрастает в разы, а тем самым становится реальным применение данного инновационного материала.

Результаты исследований показывают несоответствие нормативной и правовой баз в дорожной отрасли в части применения инновационных технологий (материалов) и говорят о необходимости скорейшей актуализации ее в ближайшее время с уточнением как характеристик материалов, так и методов оценки эффективности их применения.

Рассмотренный пример можно распространить и на другие ждущие своего признания инновационные материалы и технологии, тем самым дать возможность реального их внедрения (не только на уровне опытного строительства).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубина С.И., Сабко Г.И., Бедрин Е.А. Применение инновационных технологий при строительстве автомобильных дорог // Автомобильные дороги. 2008. № 11. С. 117–120.
2. Максимов А.Т., Сабко А.Т. Применение полимерной добавки Nicoflo для укрепления и стабилизации грунтов. М.: ВТУ Спецстрой России, 2006. 89 с.

3. Бедрин Е.А. Регулирование свойств грунтов земляного полотна // Сборник научных докладов международной научно-практической конференции «Пути решения проблем дорожной отрасли СНГ и перспективы развития мостостроения». Омск. 2010. С. 52–56.

4. Гусев Н.К., Дубина С.И., Максимов А.Т. Устойчивые смеси для дорожной одежды // Автомобильные дороги. 2012. № 5. С. 80–81.

5. Сравнительный анализ эффективности применения стабилизирующих составов и полимерных добавок в конструкциях дорожных одежд автомобильных дорог / Под ред. А.Т. Максимова. СПб.: ООО «Никель», 2006. 24 с.

6. Гридчин А.М., Золотых С.Н. Исследование влияния ПМК «Nicoflo» как механохимического активатора на свойства цемента, применяемого при укреплении грунтов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. №5. 2018. С. 6–10.

7. Li Z., Ma J., Yan H. Research and practice on grouting technology with new cement-based/polymer composite // Modeling and Computation in Engineering II. 2013. Т.201. pp. 207–212.

8. Гусев Н.К., Дубина С.И., Максимов А.Т. Оптимальный вариант // Дороги Содружества Независимых Государств. 2011. №4. С. 76–79.

9. Техническое заключение по результатам испытаний полимерно-минеральной композиции «Никофлок» и расчетов вариантов дорожных одежд с целью применения в дорожном строительстве Республики Беларусь. Минск, 2011. 34 с.

10. Государственные сметные нормативы: Федеральные сметные цены на материалы, изделия и конструкции, применяемые в строительстве. ФССЦ-2001 (редакция 2009 г.). Ч.1. Материалы для общественных работ: утв. приказом Минрегиона России от 28.07.2009. № 308.

11. Государственные сметные нормативы: Федеральные сметные цены на материалы, изделия и конструкции, применяемые в строительстве. ФССЦ-2001. Ч.4. Бетонные, железобетонные и керамические изделия. Нерудные материалы. Товарные бетоны и растворы: утв. и введен в действие с 28.05.2003 г. постанов. Госстроя России от 20.05.2003 г. № 40.

12. Государственные сметные нормативы: Федеральные сметные расценки на эксплуатацию строительных машин и автотранспортных средств. ФСЭМ-2001 (с изм. 27.02, 03.08, 15.12.2010 г.): утв. приказом Минрегиона России от 28.07.2009. № 307.

13. Приложение 1 к письму Минрегиона России от 15.07.2011 г. № 18769-АП/08 «Индексы изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ по видам строительства на III квартал 2011 года».

14. Бедрин Е.А., Бедрина Е.А. Исследование эффективности добавки «Арматор» при строительстве автомобильных дорог в Республике Крым // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: материалы II Международ. науч.-практ. конф. Омск. СибАДИ. 2017. С. 180–186.

15. Бедрин Е.А., Киселева Е.А. Развитие технологии укрепления грунтов // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования: материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Омск. СибАДИ. 2011. С. 13–18.

16. Антонов Ю.Б., Голубева Е.А., Карамышев И.М. Повышение деформативных цементогрунтов путем введения полимерных добавок // Повышение долговечности транспортных сооружений и безопасности дорожного движения: Сб. науч. тр. Казань, 2008. С. 133–135.

REFERENCES

1. Dubina S.I., Sabko G.I., Bedrin E.A. *Primenenie innovatsionnykh tekhnologij pri stroitel'stve avtomobil'nykh dorog* [Use of innovative technologies in the construction of roads]. *Avtomobil'nye dorogi*, 2008, no 11, pp. 117–120. (in Russian).

2. Maksimov A.T., Sobko G.I. *Primenenie polimernoy dobavki Nicoflok dlya ukrepleniya i stabilizatsii gruntov* [Use of Polymer Additive Nicoflok for Soil Stabilization]. Moscow, VTU Spetstroya Rossii, 2006. 89 p. (in Russian).

3. Bedrin E.A. *Regulirovanie svoystv gruntov zemlyanogo polotna* [Regulation of the properties of the subgrade soil]. *Sbornik nauchnykh dokladov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Puti resheniya problem dorozhnoy otrasli SNG i perspektivy razvitiya mostostroeniya»*. Omsk. 2010. pp. 52–56. (in Russian).

4. Gusev N.K., Dubina S.I., Maksimov A.T. *Ustoychivye smesi dlya dorozhnoy odezhdy* [Strong Compositions for Road Pavement]. *Avtomobilnye dorogi*, 2012, no 5. pp. 80–81.

5. Maksimov A.T. *Sravnitel'nyy analiz effektivnosti primeneniya stabiliziruyushchikh sostavov i polimernykh dobavok v konstruktsiyakh dorozhnykh odezhd avtomobilnykh dorog*

[Comparative Analysis of Efficiency of Stabilizing Compositions and Polymer Additives in Road Pavement of Auto Roads]. Saint-Petersburg, LLC «Nikel», 2006. 24 p. (in Russian).

6. Gridchin A.M., Zolotykh S.N. *Issledovanie vliyaniya PMK «Nicoflok» kak mekhanohimicheskogo aktivatora na svoystva cementa, primenyaemogo pri ukreplenii gruntov* [Study of the effect of the Nicoflok MEC as a mechanochemical activator on the properties of cement used in soil reinforcement]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*, 2018, no 5, pp. 6–10. (in Russian).

7. Li Z., Ma J., Yan H. Research and practice on grouting technology with new cement-based/polymer composite. *Modeling and Computation in Engineering II*. 2013. vol. 201. pp. 207–212.

8. Gusev N.K., Dubina S.I., Maksimov A.T. *Optimal'nyy variant* [The best option]. *Dorogi sodruzhestva Nezavisimykh Gosudarstv*, 2011, no 4, pp. 76–79. (in Russian).

9. *Tekhnicheskoye zaklyucheniye po rezul'tatam ispytaniy polimermineral'noy kompozitsii «Nikoflok» i raschetov variantov dorozhnykh odezhd s tsel'yu primeneniya v dorozhnom stroitel'stve Respubliki Belarus'* [Technical opinion on the results of polymer mineral composition “Nikoflok” tests and calculations of pavements for the purpose of application in road construction of the Republic of Belarus]. Minsk, 2011. 34 p.

10. Gosudarstvennyye smetnyye normativy: Federal'nyye smetnyye tseny na materialy, izdeliya i konstruksii, primenyayemye v stroitel'stve. FSSTS-2001 (redaktsiya 2009 g.). CH.1. Materialy dlya obshchestvennykh rabot: utv. prikazom Minregiona Rossii ot 28.07.2009, no 308. (in Russian).

11. Gosudarstvennyye smetnyye normativy: Federal'nyye smetnyye tseny na materialy, izdeliya i konstruksii, primenyayemye v stroitel'stve. FSSTS-2001. CH.4. Betonnyye, zhelezobetonnyye i keramicheskiye izdeliya. Nerudnyye materialy. Tovarnyye betony i rastvory: utv. i vveden v deystviye s 28.05.2003 g. postanov. Gosstroya Rossii ot 20.05.2003 g. no 40.

12. Gosudarstvennyye smetnyye normativy: Federal'nyesmetnyyerastsenkinaeksploatatsiyu stroitel'nykh mashin i avtotransportnykh sredstv. FSEM-2001 (s izm. 27.02, 03.08, 15.12.2010 g.): utv. prikazom Minregiona Rossii ot 28.07.2009. no 307.

13. Prilozheniye 1 k pis'mu Minregiona Rossii ot 15.07.2011. no 18769-AP/08 «Indeksy

izmeneniya smetnoy stoimosti stroitel'no-montazhnykh работ по видам строitel'stva na III.2011».

14. Bedrin E.A., Bedrina E.A. Issledovaniye effektivnosti dobavki «Armador» pri stroitel'stve avtomobil'nykh dorog v Respublike Krym [Study of the effectiveness of the additive "Armador" in the construction of roads in the Republic of Crimea]. *Arkhitekturno-stroitel'nyy i dorozhno-transportnyy kompleksy: problemy, perspektivy, innovatsii: materialy II mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* Omsk. 2017. pp. 180–186 (in Russian).

15. Bedrin E.A., Kiseleva E.A. Razvitiye tekhnologii ukrepleniya gruntov [Development of soil strengthening technology]. *Razvitiye dorozhno-transportnogo kompleksa i stroitel'noy infrastruktury na osnove ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: materialy VI Vseros. nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh.* Omsk. SibADI. 2011. pp. 13–18.

16. Antonov Y.B., Golubeva Y.A., Karamyshev I.M. Povysheniye deformativnykh tsementogrunтов путем vvedeniya polimernykh dobavok [Increasing deformative cement soils by introducing polymer additives]. *Povysheniye dolgovechnosti transportnykh sooruzheniy i bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: Sb. nauch. tr.* Kazan'. 2008. pp.133–135. (in Russian).

Поступила 13.12.2018, принята к публикации 22.02.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бедрин Евгений Андреевич (Россия, г. Омск) – доцент кафедры «Экономика и управление в транспортном строительстве», ORCID ID 0000-0001-9536-9713, ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080 г. Омск, пр.Мира, 5, e-mail: bedrin-ea@yandex.ru).

Бедрина Елена Анатольевна (Россия, г. Омск) – доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности», ORCID ID 0000-0003-2923-5244, ФГБОУ ВО «ОмГТУ» (644050 г. Омск, пр.Мира, 11, e-mail: bedrina_ea@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bedrin Evgeny A. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Economics and Management in Transport Construction Department, ORCID ID 0000-0001-9536-9713, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (644080, Omsk, 5, Mira, e-mail: bedrin-ea@yandex.ru).

Bedrina Elena A. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Life Safety Department, ORCID ID 0000-0003-2923-5244, Omsk State Technical University (OmGTU) (644050, Omsk, 11, Mira, e-mail: bedrina_ea@mail.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Каждый автор внес равную долю участия в теоретические и экспериментальные разделы статьи.

AUTHORS CONTRIBUTION

The authors have equal contribution to theoretical and experimental sections of the paper.

УДК 69.034.96

РЕШЕНИЕ ОПЕРАТОРНЫМ МЕТОДОМ ЗАДАЧ ЗАЩИТЫ ОТ ПОДТОПЛЕНИЯ В ГОРОДСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В.И. Сологаев
ФГБОУ ВО «СибАДИ»,
г. Омск, Россия
sologaeв_vi@cdo.sibadi.org

АННОТАЦИЯ

Введение. Подтопление подземными водами остаётся одной из проблем городского строительства. Оно связано с движением подземных вод под зданиями и сооружениями. Эти процессы чаще всего нестационарные. Расчёт их сложный. Данной работой начинаем цикл статей по методологии решения задач фильтрации подземных вод при защите от подтопления в городском строительстве с помощью операторного метода. Практическое применение математических операторов для решения инженерных задач начал Оливер Хевисайд. Использован операторный метод с преобразованием Лапласа. Показано, как с помощью Интернета и свободной программы *Math* легко сделать обратные преобразования Лапласа.

Методы и материалы. Рассмотрено решение о подтоплении городской дороги при наличии купола обводнения под асфальтовым покрытием в грунтовом основании дороги. При этом впервые для фильтрационных задач подобного типа учтено уплотнение инженерной зоны грунта под дорогой. Показано, как можно решить сложную нестационарную задачу растекания купола подтопления под городской дорогой. Технология решения приведена не только со всеми математическими подробностями операторного метода, но также снабжена новыми физическими представлениями рассматриваемой методологии. Такой оригинальный подход, на взгляд автора, поможет будущим исследователям лучше представлять физику процесса подтопления в городском строительстве. Это позволит решать задачи защиты от подтопления новым, более эффективным, способом с учётом реальных нестационарных процессов фильтрации подземных вод на застроенных и застраиваемых территориях.

Обсуждение. Дана новая постановка операторного метода для решения конкретной проблемы подтопления в городском строительстве в виде последовательности – от простого к сложному. Вначале на конкретном примере продемонстрирован способ использования Интернета и лицензионно свободной программы *Math*. При этом взят самый простой случай в виде аналогии электричества и фильтрации. Затем рассмотрено фильтрационное растекание купола техногенных подземных вод под городской дорогой. Получены новые решения нестационарной фильтрации подземных вод в инженерной зоне грунта, которые сопоставлены с известными в мировой практике результатами.

Заключение. Таким образом, представлена методология решения задач нестационарной фильтрации подземных вод при защите от подтопления в городском строительстве с помощью операторного метода с использованием преобразований Лапласа. Это позволяет получить удобные инженерные формулы, по которым можно рассчитать уровни подземных вод и обосновать практические решения и мероприятия по защите от подтопления в городском строительстве. Работа имеет постановочный характер. Предполагается дальнейшее развитие подобных научных идей и решений по защите от подтопления на территориях застройки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: подтопление, подземные воды, операторный метод, преобразования Лапласа, теория фильтрации, городское строительство.

© В.И. Сологаев



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

SOLVING THE PROBLEMS OF THE SUBMERGENCE IN URBAN CONSTRUCTION SPHERE

V.I. Sologaeв

Siberian State Automobile and Highway University,
Omsk, Russia

sologaeв_vi@cdo.sibadi.org

ABSTRACT

Introduction. *The submergence by underground water remains one of the problems in urban construction. It is also associated with the movement of groundwater under buildings and structures. Such processes are non-stationary and their calculation is complex. The paper begins the series of researches on the methodology for solving problems of filtering groundwater while protecting against flooding in urban construction by using an operator method. Oliver Heaviside began the practical application of mathematical operators for solving engineering problems. The operator method with Laplace transformations was used. It was shown how, with the help of the Internet and Maxima program, it is easy to make inverse Laplace transformations.*

Methods and materials. *The author considered the decision on the submergence of the city road in the presence of a dome watering under asphalt pavement in the dirt road foundation. At the same time, for filtration problems of such type, the author took into account the compaction of the engineering zone of the soil under the road. The paper showed how to solve the complex non-stationary problem of spreading the dome of the flooding under the city road. The technology of the solution is presented not only with all the mathematical details of the operator method, but also provided with new physical representations. Such an original approach, by the author's opinion, would help better understanding of the flooding process physics in urban construction. Moreover, it would allow solving problems of protection against flooding by a new, more efficient way, taking into account the real non-stationary processes of filtration of groundwater in built-up areas.*

Discussion. *As a result, the author presents anew statement of the operator method for solving the submergence specific problem in urban construction. First, a specific example demonstrates how to use the Internet and the license-free Maxima program. In this case, the simplest case is taken, in the form of the electricity and filtration analogy. Then the author considers the filtration spreading of the domed man-made groundwater beneath the city road. Therefore, the paper demonstrates new solutions for non-stationary filtration of groundwater in the engineering zone, which are also compared with the world practice results.*

Conclusions. *The author presents the methodology for solving unsteady groundwater filtration problems for the submergence protection in urban construction by using the operator method and Laplace transformations. Such decisions make it possible to obtain convenient engineering formulae, by which groundwater levels, substantiate practical solutions and measures for protection against submergence in urban construction could be found. The author intends to further development of such scientific ideas and solutions for submergence protection in the built-up areas.*

KEYWORDS: *submergence, groundwater, operator method, Laplace transformations, filtration theory, urban construction.*

© V.I. Sologaeв



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

ВВЕДЕНИЕ

Подтопление подземными водами продолжает оставаться одной из проблем городского строительства [1-4], особенно подземного строительства [5]. Требуется совершенствовать понимание механизмов движения подземных вод в пористой среде [6]. Геотехника всё больше и больше соприкасается с подземными водами [7-14]. Вода, насыщающая грунт, вызывает его размягчение. Это уменьшает несущую способность грунта в основании зданий и сооружений. Возникают осадки строительных конструкций, зданий и сооружений. Неравномерные осадки приводят к трещинам в ограждающих конструкциях зданий, автомобильные дороги разрушаются. Далее через трещины строительных конструкций подземные воды просачиваются в подвалы и подземные сооружения. Подтопление усугубляется, возникают его неблагоприятные последствия, вплоть до загрязнения подземных вод и окружающей среды [15]. Такие процессы связаны с движением подземных вод под зданиями и сооружениями. Чаще всего эти процессы нестационарные, реже стационарные. Поэтому их инженерный расчёт более сложный. Получение необходимых расчётных формул научным работником для дальнейшего использования инженерами является трудоёмкой задачей. Особенно в случае нестационарной фильтрации подземных вод в условиях городского строительства. Данной работой начинаем цикл статей по методологии решения задач фильтрации подземных вод при защите от подтопления в городском строительстве с помощью операторного метода.

Практическое применение математических операторов для решения инженерных задач

начал англичанин Оливер Хевисайд (Oliver Heaviside) в конце XIX века. Правда, он занимался электричеством, тем не менее полезно начать с его простейшего примера. Начнём с известной задачи Хевисайда, попутно продемонстрировав аналогичность фильтрации и электричества.

В 1887 году Оливер Хевисайд предложил добавить катушку индуктивности в электрическую цепь для коррекции возникавших искажений в линии связи трансатлантического телеграфа между Англией и США. Рассмотрим это как пример пуска электрической цепи с катушкой индуктивности (рисунок 1).

Справа на рисунке 1 ступенчатым графиком показано напряжение $U(t)$, В. Такой график иногда называют ступенчатой функцией Хевисайда. Там же изображена кривая постепенного нарастания (установления) во времени силы тока $I(t)$, А. Сила тока стремится к пределу U/R , А. Найдём силу тока $I(t)$, А.

Исходное дифференциальное уравнение электрического тока запишем по правилу Кирхгофа о том, что напряжение источника тока равно сумме падений напряжений на сопротивлениях электрической цепи:

$$U = R \cdot I(t) + L \cdot \frac{dI(t)}{dt}, \quad (1)$$

где все обозначения см. на рисунке 1. Переменными величинами являются сила тока $I(t)$ и время t (независимая переменная). Аналогом такого уравнения в теории фильтрации может быть нестационарное движение воды в грунте по вертикали.

В простой манере, в стиле Хевисайда, используем операторный метод, но с преобразо-

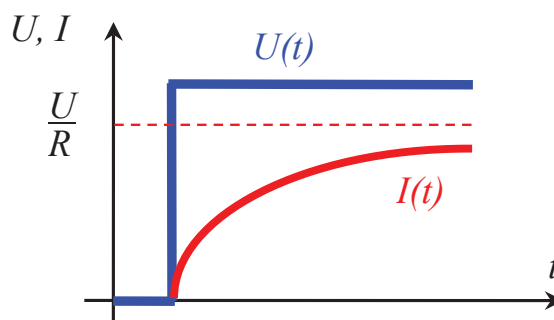
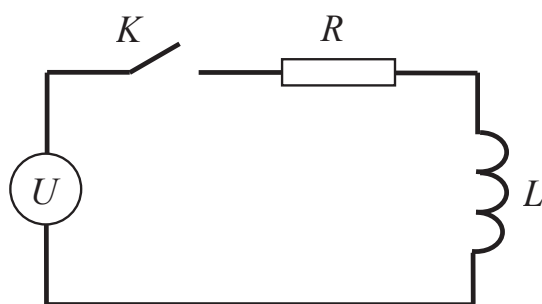


Рисунок 1 – Пуск электрической цепи с катушкой индуктивности: U – источник напряжения, В; K – ключ; R – сопротивление, Ом; L – катушка индуктивности с коэффициентом самоиндукции L , В·с/А

Figure 1 – Start of the electrical circuit with an inductor: U – voltage source, V; K – electric key; R – resistance, Ohm; L – inductor with the L self-inductance coefficient, V·s/A
Источник: составлено автором

ванием Лапласа, которое Хевисайд не применял, ограничиваясь разложением в ряд. Тем не менее, постараемся сохранить его простой инженерный стиль с физическим смыслом, без отягощения математическими доказательствами.

Оператор d/dt заменим на букву p с размерностью $1/c$. Величину p будем считать аргументом, вернее независимой переменной. Попутно отметим, что в иностранной англоязычной литературе вместо p пишут s . Это одно и то же. Зависимую переменную $I(t)$ заменяем на её изображение $J(p)$. Константу U разделим на p . В результате вместо дифференциального уравнения электрического тока в оригиналах (1) имеем уже алгебраическое уравнение в изображениях по Лапласу в виде

$$\frac{U}{p} = R \cdot J(p) + L \cdot p \cdot J(p), \quad (2)$$

откуда выразим изображение силы тока

$$J(p) = \frac{U}{p \cdot (R + L \cdot p)} = \frac{U}{R} \cdot \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{p + R/L} \right), \quad (3)$$

при этом дробь разложили на простейшие с целью использования стандартного табличного обратного преобразования Лапласа.

Получив решение в изображениях, осталось сделать обратное преобразование Лапласа и получить решение в оригиналах в виде силы тока $I(t)$.

Теперь покажем, как с помощью Интернета и свободной программы Maxima легко сделать такие обратные преобразования. Заходим на доступный испанский сайт <http://maxima.cesga.es/>, набираем в жёлтой строке сайта для правой дроби в скобках в выражении (3) следующую команду обратного преобразования Лапласа на языке Maxima:

$$\text{ilt}(1/(p + R/L), p, t). \quad (4)$$

Щёлкаем мышкой по кнопке сайта *Clis* и через несколько секунд видим ответ для правой дроби в скобках:

$$e^{-\frac{tR}{L}}. \quad (5)$$

Таким же путём далее, после элементарных действий и выкладок, получаем решение

в оригиналах для изменяющейся во времени силы тока в цепи (см. рисунок 1) в виде

$$I(t) = \frac{U}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right). \quad (6)$$

Это решение, полученное операторным методом, имеет простой и понятный смысл. Сила тока в электрической цепи, имеющей реактивное и индуктивное сопротивления, при включении нарастает плавно и быстро по закону экспоненты (график см. на рисунке 1). Аналогично будет происходить нестационарное движение нисходящего потока подземных вод по вертикали. При этом надо перейти от параметров электрических к гидрогеологическим. Для чего можно воспользоваться нашей монографией [16].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

После такого простого введения в использование операторного метода можно перейти к более сложным задачам теории фильтрации применительно к городскому строительству. Рассмотрим фильтрационное растекание купола подтопления под городской дорогой. Вначале надо произвести постановочную часть задачи. При этом уровень подземных вод сокращённо обозначим как УПВ.

На рисунке 2 показано первоначальное положение купола техногенных подземных вод под городской дорогой. В первом приближении аппроксимируем его форму как прямоугольную в вертикальном разрезе. Начинать рассмотрение таких задач следует именно с простейших геометрических форм. Это даст возможность получать наиболее простые и понятные решения. В дальнейшем исходные данные можно усложнить и исследовать применительно к конкретному случаю проведения научных исследований. Задачу рассматриваем симметричную. Водоупор, на котором залегают подземные воды, считаем совпадающим с горизонтальной плоскостью. Первоначальную мощность подземных вод в естественном состоянии без влияния инженерного сооружения принимаем H_e . Максимальная мощность (высота) купола H_k . Напоры подземных вод рассматриваем в двух зонах: под дорогой – H_1 , за пределами дороги – H_2 . Максимальная разность напоров DH_n наблюдается в момент времени $t = 0$ сут.

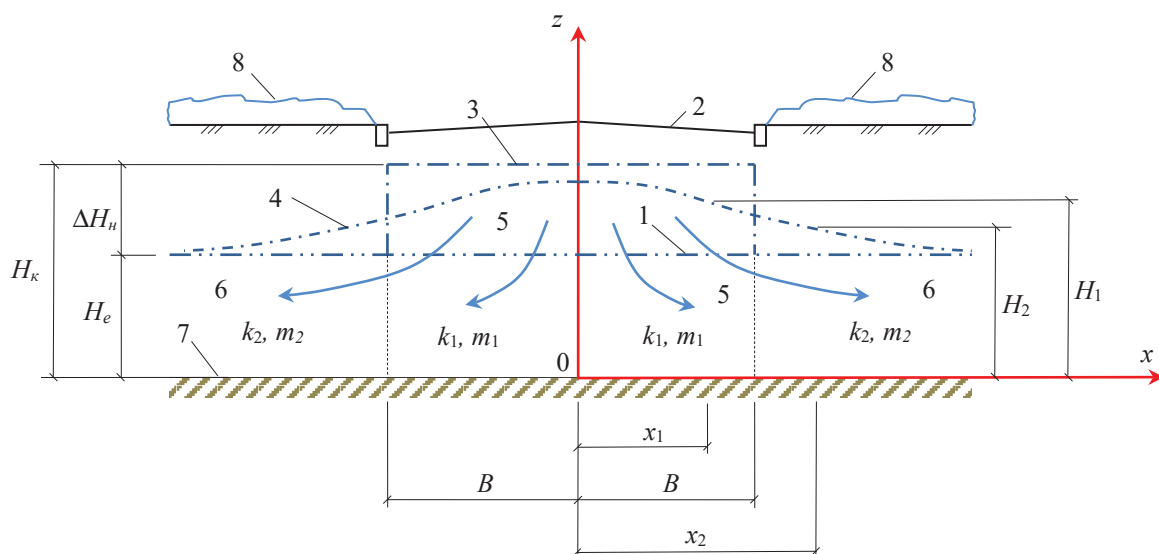


Рисунок 2 – Растекание купола подтопления под городской дорогой:
1 – начальное положение естественного УПВ; 2 – поверхность дороги;
3 – начальное положение купола УПВ;
4 – промежуточное положение УПВ с течением времени (купол подтопления);
5 – уплотнённая зона грунта и материалов под дорогой; 6 – грунт в естественном состоянии;
7 – водоупор; 8 – снег

Figure 2 – Spreading of the submergence dome under the city road: 1 – initial provision of UPV natural;
2 – road surface; 3 – initial provision of the UPV dome; 4 – intermediate position of UPV eventually (submergence dome);
5 – condensed zone of soil and materials under the road; 6 – soil in natural state;
7 – water emphasis; 8 – snow

Процесс растекания купола подземных вод под инженерным сооружением является нестационарным (см. рисунок 2). Стрелками показаны линии тока опускающегося уровня подземных вод. Первоначальное положение купола, близкое к прямоугольной форме, может сформироваться при переходе от холодного периода года к тёплому, то есть весной. В предыдущий зимний период городские дороги регулярно очищают от снега, поэтому в сравнении с прилегающей территорией поверхность дороги интенсивно отдаёт тепло из грунтового основания в атмосферу. Под влиянием температурного градиента пары влаги в грунте с поверхности УПВ начинают перемещаться вверх к холодной поверхности асфальтового покрытия. Встречаясь с отрицательными температурами, водяные пары начинают выпадать в порах грунта в виде конденсата, который тут же замерзает, образуя внутренний лёд. Так образуется морозное пучение грунта. Подробности данного процесса приведены, например в трудах учёных МГУ [17], а также в монографии Р.Ш. Абжалимова [18].

При наступлении весны грунт, содержащий столб замёрзшей влаги под дорогой, начина-

ет оттаивать сверху. Поэтому такое состояние можно представить как первоначальное положение купола подземных вод в виде прямоугольного сечения 3, показанного на рисунке 2. Именно с этого положения нужно считать начало растекания купола под дорогой, принимая момент времени растекания $t = 0$ сут при максимальной высоте купола H_k и максимальной разности напоров DH_n .

Автомобильные дороги и их грунтовые основания подвергаются интенсивному уплотнению со стороны статических и динамических нагрузок как в процессе строительства, так и в процессе эксплуатации. Поэтому под дорогами фильтрационные характеристики грунта изменяются в сторону уменьшения проницаемости, водоотдачи и недостатка насыщения. Такую зону грунтового основания обозначим шириной $2B$ (см. рисунок 2). В ходе изыскательских работ фильтрационные характеристики и размеры этой зоны пониженной проницаемости на существующих дорогах могут быть уточнены бурением.

Фильтрационные характеристики грунтового основания под дорогой шириной $2B$ в течение длительного периода эксплуатации доро-

ги изменятся. Коэффициент фильтрации k_1 в этой зоне под влиянием уплотнения станет меньше, чем коэффициент фильтрации k_2 за пределами этой зоны, то есть в ненарушенном грунте. Коэффициенты водоотдачи (недостатка насыщения) для соответствующих грунтовых зон m_1 и m_2 тоже должны измениться. Все эти особенности показаны на рисунке 2.

Другим важным моментом в процессе постановки задачи является определение возможного способа линеаризации исходных дифференциальных уравнений фильтрации, которые изначально являются нелинейными. Подземные воды в основании зданий и сооружений чаще всего встречаются как грунтовые воды. Это означает, что водоносный горизонт имеет свободную поверхность, давление на которой равно атмосферному. Кроме того, над этой свободной поверхностью имеется зона капиллярного подъёма. Пока её наличие учитывать не будем, отложив для более сложных случаев расчёта.

Используя принцип сохранения баланса фильтрующейся под дорогой влаги и закон Дарси, составим систему из двух дифференциальных уравнений. При этом выбор способа линеаризации произведём по рекомендациям Н.П. Куранова [19, 20]. Данная задача относится к прогнозам подтопления. Поэтому выбираем 1-й способ линеаризации, который в иностранной литературе называют способом линеаризации по Буссинеску. Тогда систему из двух дифференциальных уравнений нестационарной безнапорной фильтрации подземных вод можно записать в таком виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 H_1}{\partial x^2} &= \frac{1}{c \cdot a} \cdot \frac{\partial H_1}{\partial t}; \quad |x| \leq B; \quad c = k_0/m_0; \quad m_0 = m_1/m_2; \\ \frac{\partial^2 H_2}{\partial x^2} &= \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial H_2}{\partial t}; \quad |x| \geq B; \quad a = k_2 \cdot H_e/m_2; \quad k_0 = k_1/k_2. \end{aligned} \quad (7)$$

Для постановки решения системы уравнений в частных производных необходимо также записать краевые условия в следующем виде:

$$\begin{aligned} H_1(x, 0) &= H_\kappa = H_e + \Delta H_n; \quad H_2(x, 0) = H_e; \quad \partial H_1(0, t)/\partial x = 0; \\ k_0 \frac{\partial H_1(B, t)}{\partial x} &= \frac{\partial H_2(B, t)}{\partial x}; \quad H_1(B, t) = H_2(B, t); \quad H_2(\infty, t) = H_e. \end{aligned} \quad (8)$$

Условия (8) требуют дополнительного пояснения, которое сделаем в порядке их следования. Первое условие является начальным условием для внутренней зоны под дорогой при $x = x_1$ на момент времени растекания $t = 0$ сут при максимальной высоте купола H_κ и максимальной разности напоров ΔH_n . Второе условие – это то же начальное условие, но уже для наружной зоны за пределами дороги при $x = x_2$, тут всюду принимаем естественный напор подземных вод $H = H_e$. Третье условие означает, что градиент напора подземных вод в центральной точке купола при $x = 0$ в любой момент времени t равен нулю, то есть движение купола в его центре (апогее) является лишь вертикальным в виде опускания УПВ вниз. Четвёртое условие отражает равенство скоростей фильтрации по закону Дарси на контакте двух зон x_1 и x_2 в течение всего периода прогнозирования при любых t , что является аналогом уравнения неразрывности. Пятое условие выражает равенство напоров подземных вод на границе двух упомянутых зон. Наконец, шестое условие «на бесконечности» является реальным фактом, что на значительном удалении от объекта исследования влияние инженерного сооружения на природные подземные воды сходится на нет.

Постановка задачи закончена. Теперь покажем, как решить операторным методом систему уравнений (7) при краевых условиях (8). Для этого вначале к оригиналам, то есть к системе (7) и условиям (8), надо применить преобразование Лапласа по времени, что позволит превратить нестационарные уравнения в псевдостационарные в виде изображений, которые будет проще решать, так как будет условно исключена зависимость от времени. Затем полученные решения в изображениях надо вернуть к оригиналам с помощью обратного преобразования Лапласа. Тогда нестационарная задача растекания купола подземных вод под дорогой будет окончательно решена. Таков план решения. Начнём.

Преобразование Лапласа по времени в применении к напору как функции горизонтальной координаты x и времени опускания купола подтопления t имеет следующий вид [21-27]:

$$h(x, p) = \int_0^{\infty} e^{-pt} \cdot H(x, t) \cdot dt. \quad (9)$$

Для начинающего исследователя применение данного преобразования требует дополнительных пояснений. Интеграл (9) мысленно надо представлять как большую сумму произведений напоров на экспоненту с отрицательной степенью. Интегрирование по времени в (9) представляет собой в результате некоторую конечную величину h (не напор, а изображение напора с размерностью в метрах водяного столба, умноженного на единицу времени). В целом интеграл будет всегда сходящимся, так как при увеличении времени t (переменная) величина параметра p всегда остаётся константой, а подынтегральная экспонента, в свою очередь, быстро стремится к нулю. Поэтому большая сумма (то есть интеграл) стремится к конечному значению. Значит преобразование (9) приводит к переходу от оригинала H к изображению h , уже не зависящему от времени t . Производя таким образом преобразования дифференциальных уравнений (7) и краевых условий (8), можно получить фильтрационную задачу уже чисто стационарную, то есть не зависящую от времени. А решение таких задач уже хорошо известно. Например, можно воспользоваться справочником Камке [28], что мы и сделаем. Покажем ход решения.

Преобразование Лапласа (9), применённое к уравнениям (7), позволяет получить такую систему обыкновенных дифференциальных уравнений в изображениях:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 h_1}{dx^2} &= \frac{1}{c \cdot a} \cdot (p \cdot h_1 - H_\kappa); & |x| \leq B; \\ \frac{d^2 h_2}{dx^2} &= \frac{1}{a} \cdot (p \cdot h_2 - H_e); & |x| \geq B; \end{aligned} \quad (10)$$

причём, дополнительно (в качестве примера), поясним как получено первое из уравнений системы (10). Для этого умножим соответствующее первое уравнение (7) на экспоненту в отрицательной степени pt и проинтегрируем обе части уравнения по формуле (9) в пределах от нуля до бесконечности. Раскрывая значение интеграла в его пределах, получаем (10).

С краевыми условиями в оригиналах (8) проделываем такие же действия. Тогда получим краевые условия для области в изображениях в виде

$$\begin{aligned} dh_1(0, p)/dx &= 0; & k_0 \frac{dh_1(B, p)}{dx} &= \frac{dh_2(B, p)}{dx}; \\ h_1(B, p) &= h_2(B, p); & dh_2(\infty, t) &= H_e, \end{aligned} \quad (11)$$

при этом обращаем внимание, что в отличие от (8) в системе (11) исчезли начальные условия, то есть краевые условия (8) превратились в формулах (11) в граничные условия без учёта времени, что и требовалось получить на данном промежуточном этапе решения.

Чтобы решить систему обыкновенных дифференциальных уравнений (10), можно в целях экономии сил обратиться к справочнику Камке [28]. Находим по данной книге стандартное решение в виде

$$\begin{aligned} h_1 &= H_\kappa / p + C_1 \cdot e^{x \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}} + C_2 \cdot e^{-x \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}}; \\ h_2 &= H_e / p + C_3 \cdot e^{x \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}} + C_4 \cdot e^{-x \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}}, \end{aligned} \quad (12)$$

при этом C_1, C_2, C_3, C_4 – произвольные константы интегрирования, которые определим из граничных условий (11).

Процесс нахождения C_1, C_2, C_3, C_4 элементарен, его здесь не будем расписывать. Подставив найденные C_1, C_2, C_3, C_4 в (12), имеем в изображениях такую систему:

$$\begin{aligned} h_1 &= H_\kappa / p + \frac{\Delta H_n \cdot \operatorname{ch}\left(x \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}\right)}{p \cdot \left[\operatorname{ch}\left(B \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}\right) + m_0 \cdot \sqrt{c} \cdot \operatorname{sh}\left(B \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}\right) \right]}; \\ h_2 &= H_e / p + \frac{\Delta H_n \cdot m_0 \cdot \sqrt{c} \cdot e^{(B-x) \cdot \sqrt{\frac{p}{a}}} \cdot \operatorname{sh}\left(B \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}\right)}{p \cdot \left[\operatorname{ch}\left(B \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}\right) + m_0 \cdot \sqrt{f} \cdot \operatorname{sh}\left(B \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}\right) \right]}. \end{aligned} \quad (13)$$

От системы в изображениях (13) необходимо перейти к оригиналам, то есть к напорам подземных вод под дорогой и вне её, зависящих от времени. Задача не простая, требует нескольких шагов. Покажем, как это делать.

Вначале обратим внимание на гиперболические синус и косинус в (13). Крайне желательно эти функции выразить через экспоненты, ибо тогда обратное преобразование Лапласа легче находить. Такие действия достаточно громоздки, но не очень сложные. Оставляем читателю в качестве полезной тренировки выполнить их самостоятельно, пользуясь хорошим математическим справочником для научных работников типа такого, как [26]. В результате получим систему уравнений в виде

$$\begin{aligned} h_1 &= H_\kappa / p + \frac{\Delta H_n \cdot \left(e^{-(B-x) \cdot \sqrt{\frac{p}{a}}} + e^{-(B+x) \cdot \sqrt{\frac{p}{a}}} \right)}{p \cdot (m_0 \cdot \sqrt{c} + 1) \cdot \left(1 - s \cdot e^{-2B \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}} \right)}; \\ h_2 &= H_e / p + \frac{\Delta H_n \cdot \left(e^{-(B-x) \cdot \sqrt{\frac{p}{a}}} + e^{-(B+x) \cdot \sqrt{\frac{p}{a}}} \right)}{p \cdot (m_0 \cdot \sqrt{c} + 1) \cdot \left(1 - s \cdot e^{-2B \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}} \right)}. \end{aligned} \quad (14)$$

При этом с целью устранения громоздкости введено дополнительное обозначение

$$s = \frac{m_0 \cdot \sqrt{c} - 1}{m_0 \cdot \sqrt{c} + 1}. \quad (15)$$

Следующим шагом является разложение (14) в ряд по степеням:

$$\left[s \cdot e^{-2B \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}} \right]^n. \quad (16)$$

Тогда получим

$$h_1 = H_\kappa / p + \frac{\Delta H_n}{p \cdot (m_0 \cdot \sqrt{c} + 1)} \cdot \left[\sum_{n=0}^{\infty} s^n \cdot e^{-[(2n+1) \cdot B - x] \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}} + \sum_{n=0}^{\infty} s^n \cdot e^{-[(2n+1) \cdot B + x] \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}} \right]; \quad (17)$$

$$h_2 = H_e / p + \frac{\Delta H_n}{p \cdot (m_0 \cdot \sqrt{c} + 1)} \cdot \left[\sum_{n=0}^{\infty} s^n \cdot e^{-[(x-B) \cdot \sqrt{c} + 2 \cdot n \cdot B] \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}} - \sum_{n=0}^{\infty} s^n \cdot e^{-[(x-B) \cdot \sqrt{c} + 2 \cdot B \cdot (n+1)] \cdot \sqrt{\frac{p}{c \cdot a}}} \right].$$

В системе (17) члены бесконечных рядов имеют оригиналы обратного преобразования Лапласа, которые можно найти, например в книгах [21, 22]. Поэтому окончательно получим искомое решение в общем виде для определения напоров (УПВ) под дорогой и за её пределами, зависящее от времени растекания купола грунтовых вод в виде такой системы:

$$H_1 = H_\kappa - \frac{\Delta H_n}{m_0 \cdot \sqrt{c} + 1} \cdot \left[\sum_{n=0}^{\infty} s^n \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{(2n+1) \cdot B - x}{2\sqrt{c \cdot a \cdot t}} \right) + \sum_{n=0}^{\infty} s^n \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{(2n+1) \cdot B + x}{2\sqrt{c \cdot a \cdot t}} \right) \right]; \quad (18)$$

$$H_2 = H_e + \frac{\Delta H_n \cdot m_0 \cdot \sqrt{c}}{m_0 \cdot \sqrt{c} + 1} \cdot \left[\sum_{n=0}^{\infty} s^n \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{(x-B) \cdot \sqrt{c} + 2nB}{2\sqrt{c \cdot a \cdot t}} \right) + \sum_{n=0}^{\infty} s^n \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{(x-B) \cdot \sqrt{c} + 2B(n+1)}{2\sqrt{c \cdot a \cdot t}} \right) \right],$$

причём все обозначения для расчёта по данным формулам показаны на рисунке 2 и в пояснениях к уравнениям (7) и (15). Функция erfc – это дополнительный интеграл вероятности. В русской версии электронных таблиц MS Excel она обозначена как ДФОШ (дополнительная функция ошибок).

Легко заметить по внешнему виду формул (18), что в зоне под дорогой происходит нестационарное опускание свободной поверхности грунтовых вод, а во внешней зоне за пределами дороги, наоборот, будет подъём, то есть подтопление с повышением УПВ. Такое утверждение основано на правой части решения в виде поправки H_1 со знаком минус (опускание) и поправки H_2 со знаком плюс (подтопление).

На основе полученного решения (18) можно записать формулу для вычисления нестационарного опускания центра купола подземных вод при $x=0$ в виде такого частного случая для середины дороги:

$$H_1 = H_\kappa - \frac{2\Delta H_n}{m_0 \cdot \sqrt{c} + 1} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} s^n \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{(2n+1) \cdot B}{2\sqrt{c \cdot a \cdot t}} \right). \quad (19)$$

ОБСУЖДЕНИЕ

Сравним полученные новые решения (18) и (19) с известными в мировой практике результатами. Академик П.Я. Полубаринова-Кочина [29, 30, 31] получила нестационарное решение для напоров подземных вод в однородном пласте в общем виде

$$H = H_e + \frac{\Delta H_n}{2} \cdot \left[\operatorname{erf} \left(\frac{B-x}{2\sqrt{a \cdot t}} \right) + \operatorname{erf} \left(\frac{B+x}{2\sqrt{a \cdot t}} \right) \right]; \quad 0 < |x| < \infty, \quad (20)$$

а для центра купола при $x=0$ в виде

$$H = H_e + \Delta H_n \cdot \operatorname{erf} \left(\frac{B}{2\sqrt{a \cdot t}} \right); \quad 0 < |x| < \infty, \quad (21)$$

Наши формулы (18) и (19) при $m_0=1$ и $k_0=1$ переходят в формулы П.Я. Полубариновой-Кочиной, соответственно, (20) и (21). Следовательно, наши решения (18) и (19) верны и могут быть рекомендованы к использованию при расчёте защиты от подтопления в городском строительстве.

Выясним, являются ли полученные нами формулы (18) и (19) надёжными и удобными для инженеров, работающих в сфере городского строительства, сталкивающихся с проблемой подтопления. Материалы статьи могут быть использованы работниками дорожного хозяйства и благоустройства, а также специалистами по эксплуатации и обслуживанию объектов жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ).

Городские дороги в основном являются типичными линейными объектами. Поэтому начало изложения основной части статьи было представлено решением проблемы нестационарного растекания купола подтопления под городской дорогой (см. рисунок 2). Для зданий и сооружений как объектов ЖКХ случай рассмотрения линейной нестационарной задачи подтопления под ними надо начинать с критерия соотношения сторон строительного объекта, то есть отношения длины к ширине. Если это отношение больше 5, то с точки зрения теории фильтрации, которая лежит в основе методологии защиты от подтопления, такой строительный объект является линейным [32]. Поэтому можно применять наши формулы (18) и (19). Сказанное определяет область применения методологии, представленной в данной работе.

Продemonстрируем на конкретном примере надёжность и удобство полученных зависимостей (18) и (19). Ещё в 1980-х годах прошлого века подобные формулы считались бы громоздкими, то есть не очень удобными для инженеров. Особенно может смутить бесконечная сумма, применённая в (18) и (19). Однако в настоящее время (2019 год) можно использовать для расчёта любую доступную компьютерную программу. Например, электронные таблицы MS Excel. Члены суммы быстро убывают и можно ограничиться 10 членами.

Наш пример рассмотрим с исходными данными для наиболее важного случая по формуле (19), соответствующего центру купола подтопления (см. рисунок 2). Имеем линейный объект городского строительства (дорога, здание или сооружение). В его основании образовался купол подтопления. Под дорогой причиной этого может быть весеннее оттаивание сезонной мерзлоты. Под зданием причиной подтопления может быть внезапная утечка воды в подвале из водопровода, канализации или теплосети. Требуется рассчитать, на какую величину опустится центр купола подземных вод спустя $t = 3$ сут после возникновения подтопления под дорогой, половина ширины которой $B = 6$ м (см. рисунок 2).

Гидрогеологические параметры под объектом и на прилегающей территории определены с помощью бурения для суглинков, подстилаемых водоупорными глинами (см. рисунок 2). Коэффициенты фильтрации: $k_1 = 0,05$ м/сут, $k_2 = 0,5$ м/сут, $k_0 = 10$; коэффициенты водоотдачи: $m_1 = m_2 = 0,05$, $m_0 = 1$. Напоры: $H_e = 5$ м, $H_k = 8$ м, разность напоров $DH_k = 3$ м. Коэффициент уводнепроводности $a = k_2 \cdot H_e / m_2 = 0,05 \cdot 5 / 0,05 = 5$ м²/сут. Параметр $c = k_0 / m_0 = 10 / 1 = 10$. Дополнительный параметр по формуле (15) будет

$$s = \frac{m_0 \cdot \sqrt{c} - 1}{m_0 \cdot \sqrt{c} + 1} = \frac{1 \cdot \sqrt{10} - 1}{1 \cdot \sqrt{10} + 1} = 0,52.$$

Рассчитаем положение центра купола подтопления по нашей формуле (18) для плано- однородного водоносного пласта. Затем сравним с расчётом по формуле для плано- однородного пласта (21) по П.Я. Полубариновой-Кочиной. Для упрощения расчёта используем электронные таблицы MS Excel. При этом помним, что в русской версии Excel функция дополнительного интеграла вероятности $\operatorname{erfc}()$ обозначена как ДФОШ(), а функция $\operatorname{erf}()$ обозначена как ФОШ(). Результаты сравнительных расчётов такие.

По нашей формуле (18) через 3 суток напор подземных вод в центре купола

$$H_1 = 8 - \frac{2 \cdot 3}{1 \cdot \sqrt{10} + 1} \cdot \sum_{n=0}^{10} 0,52^n \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{(2n+1) \cdot 6}{2\sqrt{10} \cdot 5 \cdot 3}\right) = 7,61 \text{ м},$$

то есть уровень подземных вод (УПВ) опустился на $8 - 7,61 = 0,39$ м.

По формуле П.Я. Полубариновой-Кочиной (21) напор подземных вод в центре купола

$$H = 5 + 3 \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{6}{2\sqrt{5 \cdot 3}}\right) = 7,18 \text{ м},$$

то есть уровень подземных вод (УПВ) рассчитан с опусканием $8 - 7,18 = 0,82$ м, что примерно в 2 раза завышает реальное опускание купола подтопления в плано-неоднородном пласте. Поэтому по нашей формуле (18) прогноз подтопления более надёжный.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в представленной работе последовательно, от простого к сложному, продемонстрировано решение задач нестационарной фильтрации подземных вод при защите от подтопления в городском строительстве с помощью операторного метода с использованием преобразований Лапласа. Это позволяет получить надёжные формулы, по которым можно рассчитать уровень подземных вод. Представленная методология даёт возможность довести получаемые зависимости до инженерного вида. Это позволит научно обосновать практические решения и мероприятия по защите от подтопления в городском строительстве. Работа имеет постановочный характер нового направления. Предполагается продолжение развития идей и методов теории фильтрации в городском строительстве с помощью операторного метода, позволяющего решать нестационарные задачи, которые наиболее достоверно описывают реальные процессы в природе и техногенной среде на застраиваемых и застроенных территориях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Huggenberger P., Jannis E. Urban Geology. Process-Oriented Concepts for Adaptive and Integrated Resource Management. Springer, Basel, 2011, 233 p. DOI 10.1007/978-3-0348-0185-0.
2. Serikova E., Strelnikova E., Yakovlev V. Mathematical Model of Dangerous Changing the Groundwater Level in Ukrainian Industrial Cities. Journal of Environment Protection and Sustainable Development. Vol. 1, No. 2, 2015, pp. 86–90.
3. Kremez V. S., Buts Y. V., Tsymbal V. A., 2003. Actual issues of modeling flooding territories

and other dangerous processes concerned with groundwater regime changes. Environmental Ecology and Life Safety. No. 6, 2003, pp.56–64.

4. Telima S.V., Revyakina N.Y. Model research processes of flooding by groundwater of urban areas in modern conditions. Environmental Safety and Nature Resources. No. 7, 2011, pp. 45–63.

5. Gattinoni P., Pizzarotti E., Scesi L. Engineering Geology for Underground Works. Springer Science+Business Media, Dordrecht, 2014. 312 p. DOI 10.1007/978-94-007-7850-4.

6. Haque Muhammad I. Mechanics of Groundwater in Porous Media. CRC Press, 2017. 280 p. <https://www.crcpress.com/Mechanics-of-Groundwater-in-Porous-Media/Haque/p/book/9781138072220>

7. Briaud J.L. Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils. Wiley, 2013. 1024 p.

8. Cushman John H., Tartakovsky Daniel M. The Handbook of Groundwater Engineering. CRC Press, 2016. 1074 p.

9. Nonner J.C. Introduction to Hydrogeology. CRC Press, 2015. 266 p.

10. Eslamian Saeid, Eslamian Faezeh A. Handbook of Drought and Water Scarcity. CRC Press, 2017. 2145 p.

11. Walton C. Principles of Groundwater Engineering. CRC Press, 1990. 568 p.

12. Gray Nicholas. Water Science and Technology: An Introduction. CRC Press, 2017. 680 p.

13. Villholth Karen G. et al. Advances in Groundwater Governance. CRC Press, 2017. 594 p.

14. Ebrahim G. Y. Modelling Groundwater Systems: Understanding and Improving Groundwater Quantity and Quality Management. CRC Press, 2014. 196 p.

15. Kringel R. et al. Mass balance of nitrogen and potassium in urban groundwater in Central Africa Science of the Total Environment, 547 (2016), pp. 382–395. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.090> . Published by Elsevier B.V.

16. Сологаев В.И. Фильтрационные расчёты и компьютерное моделирование при защите от подтопления в городском строительстве : Монография. Омск: Изд-во СибАДИ, 2002. 416 с.

17. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях / В.А. Кудрявцев, Л.С. Гарагуля, К.А. Кондратьева, В.Г. Меламед. М.: Изд-во МГУ, 1974. 432 с.

18. Абжалимов Р.Ш. Использование сезонно промерзающих пучинистых грунтов в качестве оснований для фундаментов малоэтажных зданий и подземных сооружений в инженерной практике: Монография. Омск: Омскбланкиздат, 2013. 442 с.

19. Куранов Н.П. Линейные модели гидродинамической теории фильтрации // Доклады Академии наук СССР. М.: Наука, 1984. Том 278, № 2. С. 309–313.

20. Куранов Н.П. О связи гидродинамической и гидравлической теорий фильтрации и способах их линеаризации при исследовании вопросов подтопления территорий грунтовыми водами // Инженерная защита территорий. М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1982. С. 5–20.

21. Диткин В.А., Прудников А.П. Интегральные преобразования и операционное исчисление. М.: Наука, 1974. 544 с.

22. Диткин В.А., Прудников А.П. Справочник по операционному исчислению. М.: Высшая школа, 1965. 467 с.

23. Карслоу Х., Егер Д. Операционные методы в прикладной математике. М.: Государственное издательство иностранной литературы, 1948. 292 с.

24. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1964. 487 с.

25. Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. М.: Высшая школа, 1985. 480 с.

26. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1984. 832 с.

27. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. 536 с.

28. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: Наука, 1976. 576 с.

29. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. М.: Гостехтеориздат, 1952. 676 с.

30. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. М.: Наука, 1977. 664 с.

31. Полубаринова-Кочина П.Я., Пряжинская В.Г., Эмих В.Н. Математические методы в вопросах орошения. М.: Наука, 1969. 416 с.

32. Прогнозы подтопления и расчёт дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях / ВНИИ ВОДГЕО. М.: Стройиздат, 1991. 272 с. (Справочное пособие к СНиП). Авт.: А.Ж. Муфтахов, И.В. Коринченко, Н.М. Григорьева, А.П. Шевчик, В.И. Сологаев.

REFERENCES

1. Huggenberger P., Jannis E. Urban Geology. Process-Oriented Concepts for Adaptive and Integrated Resource Management. Springer, Basel, 2011, 233 p. DOI 10.1007/978-3-0348-0185-0.

2. Serikova E., Strelnikova E., Yakovlev V. Mathematical Model of Dangerous Changing the Groundwater Level in Ukrainian Industrial Cities. Journal of Environment Protection and Sustainable Development. Vol. 1, No. 2, 2015, pp. 86–90.

3. Kremez V. S., Buts Y. V., Tsymbal V. A., 2003. Actual issues of modeling flooding territories and other dangerous processes concerned with groundwater regime changes. Environmental Ecology and Life Safety. No. 6, 2003, pp.56–64.

4. Telima S.V., Revyakina N.Y. Model research processes of flooding by groundwater of urban areas in modern conditions. Environmental Safety and Nature Resources. No. 7, 2011, pp. 45–63.

5. Gattinoni P., Pizzarotti E., Scesi L. Engineering Geology for Underground Works. Springer Science+Business Media, Dordrecht, 2014. 312 p. DOI 10.1007/978-94-007-7850-4.

6. Haque Muhammad I. Mechanics of Groundwater in Porous Media. CRC Press, 2017. 280 p. <https://www.crcpress.com/Mechanics-of-Groundwater-in-Porous-Media/Haque/p/book/9781138072220>

7. Briaud J.L. Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils. Wiley, 2013. 1024 p.

8. Cushman John H., Tartakovsky Daniel M. The Handbook of Groundwater Engineering. CRC Press, 2016. 1074 p.

9. Nonner J.C. Introduction to Hydrogeology. CRC Press, 2015. 266 p.

10. Eslamian Saeid, Eslamian Faezeh A. Handbook of Drought and Water Scarcity. CRC Press, 2017. 2145 p.

11. Walton C. Principles of Groundwater Engineering. CRC Press, 1990. 568 p.

12. Gray Nicholas. Water Science and Technology: An Introduction. CRC Press, 2017. 680 p.

13. Villholth Karen G. et al. Advances in Groundwater Governance. CRC Press, 2017. 594 p.

14. Ebrahim G. Y. Modelling Groundwater Systems: Understanding and Improving

Groundwater Quantity and Quality Management. CRC Press, 2014. 196 p.

15. Kringel R. et al. Mass balance of nitrogen and potassium in urban groundwater in Central Africa Science of the Total Environment, 547 (2016), pp. 382–395. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.090> . Published by Elsevier B.V.

16. Sologaeв V.I. *Fil'tratsionnye raschety i komp'yuternoe modelirovaniye pri zashchite ot podtopleniya v gorodskom stroitel'stve*: Monografiya [Filtrational calculations and computer modeling at flooding protection in city construction]. Omsk: Izd-vo SibADI, 2002. 416 p. (in Russian)

17. *Osnovy merzlotnogo prognoza pri inzhenerno-geologicheskikh issledovaniyakh* [Bases of the cryosolic forecast at engineering-geological researches]. V.A. Kudryavtsev, L.S. Garagulya, K.A. Kondrat'eva, V.G. Melamed. M.: Izd-vo MGU, 1974. 432 p. (in Russian)

18. Abzhalimov R.Sh. *Ispol'zovanie sezonno promerzayushchikh puchinistikh gruntov v kachestve osnovanii dlya fundamentov maloetazhnykh zdaniy i podzemnykh sooruzhenii v inzhenernoi praktike*: Monografiya [Use of the soil which is seasonally freezing through the puchinistikh as the bases for the bases of low buildings and underground constructions in engineering practice]. Omsk: Omskblankizdat, 2013. 442 p. (in Russian)

19. Kuranov N.P. Lineinye modeli gidrodinamicheskoi teorii fil'tratsii [Linear models of the hydrodynamic theory of filtering]. *Doklady Akademii nauk SSSR*. Moscow, Nauka, 1984. Tom 278, no 2. pp. 309–313. (in Russian).

20. Kuranov N.P. O svyazi gidrodinamicheskoi i gidravlicheskoi teorii fil'tratsii i sposobakh ikh linearizatsii pri issledovanii voprosov podtopleniya territorii gruntovymi vodami [About communication of hydrodynamic and hydraulic theories of filtering and ways of their linearization at a research of issues of flooding of territories by subsoil waters]. *Inzhenernaya zashchita territorii*, Moscow, VNII VODGEO, 1982. pp. 5–20. (in Russian).

21. Ditkin V.A., Prudnikov A.P. *Integral'nye preobrazovaniya i operatsionnoye ischislenie* [Integrated conversions and operational calculation]. Moscow, Nauka, 1974. 544 p. (in Russian).

22. Ditkin V.A., Prudnikov A.P. *Spravochnik po operatsionnomu ischisleniyu* [Reference book on operational calculation]. Moscow, Vysshaya shkola, 1965. 467 p. (in Russian).

23. Karslou Kh., Eger D. *Operatsionnye metody v prikladnoi matematike* [Operational

methods in applied mathematics]. Moscow, Gosudarstvennoe izdatel'stvo inostrannoi literatury, 1948. 292 p. (in Russian).

24. Karslou G., Eger D. *Teploprovodnost' tverdykh tel* [Teploprovodnost of solid bodies]. Moscow, Nauka, 1964. 487 p. (in Russian).

25. Kartashov E.M. *Analiticheskie metody v teorii teploprovodnosti tverdykh tel* [Analytical methods in the theory of heat conductivity of solid bodies]. Moscow, Vysshaya shkola, 1985. 480 p. (in Russian).

26. Korn G., Korn T. *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov* [The reference book on mathematics for scientists and engineers]. Moscow Nauka, 1984. 832 p. (in Russian).

27. Lykov A.V., Mikhailov Yu.A. *Teoriya teplo- i massoperenosa* [Theory warm and mass transfer]. M.-L.: Gosenergoizdat, 1963. 536 p. (in Russian).

28. Kamke E. *Spravochnik po obyknovennym differentsial'nym uravneniyam* [Reference book on ordinary differential equations]. Moscow, Nauka, 1976. 576 p. (in Russian)

29. Polubarinova-Kochina P.Ya. *Teoriya dvizheniya gruntovykh vod* [Theory of the subsoil waters movement]. Moscow, Gostekhizdat, 1952. 676 p. (in Russian).

30. Polubarinova-Kochina P.Ya. *Teoriya dvizheniya gruntovykh vod* [Theory of the subsoil waters movement]. Moscow, Nauka, 1977. 664 p. (in Russian).

31. Polubarinova-Kochina P.Ya., Pryazhinskaya V.G., Emikh V.N. *Matematicheskie metody v voprosakh orosheniya* [Mathematical methods in questions of irrigation]. M.: Nauka, 1969. 416 p. (in Russian).

32. *Prognozy podtopleniya i raschyot drenaznykh sistem na zastraivaemykh i zastroyennykh territoriyah* / VNII VODGEO. [Forecasts of flooding and calculation of drainage systems on the built-up and built up VODGEO'S territories] Moscow, Strojizdat, 1991. 272p. Avt.: A.ZH. Muftahov, I.V. Korinchenko, N.M. Grigor'eva, A.P. Shevchik, V.I. Sologaeв. (in Russian).

Поступила 23.08.2018 , принята к публикации 22.02.2019.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Сологаев Валерий Иванович – д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», проф. каф. ГСХН, 644080, Россия, г. Омск, пр. Мира 5, sologaev_vi@cdo.sibadi.org.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Sologaev Valery Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Siberian State Automobile and Highway University (644080, Russia, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: sologaev_vi@cdo.sibadi.org).

УДК 624.21.011.1.691.1

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМ ПЛИТНО-РЕБРИСТЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ИЗ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

В.А. Уткин*, П.Н. Кобзев,
ФГБОУ ВО «СибАДИ»,
г. Омск, Россия
*kpn_omsk@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Статья посвящена сборным цельноклееным плитно-ребристым пролетным строениям, содержащим клееные балки (ребра) и многослойную деревоплиту из горизонтальных перекрестных слоев досок-заготовок, уложенных последовательно на клееные балки и друг на друга и соединенных между собой клеевыми швами.

Материалы и методы. В развитие конструктивно-технологических форм рассматриваемых пролетных строений предложена конструкция, составленная из плитно-ребристых цельноперевозимых секций заводского изготовления шириной 3–3,5 м. Совместная работа отдельных секций обеспечена за счет узлов объединения по примыкающим ребрам секций без сложного обжатия всех элементов пролетного строения, включая балки, плиты и диафрагмы.

Результаты. Анализ напряженно-деформированного исследуемого пролетного строения двумя методами свидетельствует о том, что оба метода определяют с достаточной степенью точности характер распределения напряжений и деформаций в сечениях конструкции. Полученные величины максимальных прогибов и напряжений не превышают установленных нормами предельных значений и соответствующих величин в аналогичной конструкции пролетного строения со сплошной деревоплитой.

Заключение. Предлагаемая конструкция членения цельноклееного многоребристого пролетного строения на отдельные сборные, изготавливаемые в заводских условиях, секции позволит существенно расширить область применения клееной древесины в мостостроении.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цельноклееное пролетное строение, поперечное обжатие, многослойная деревоплита из перекрестных досок, плитно-ребристая конструкция заводского изготовления.

© В.А. Уткин, П.Н. Кобзев



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ON PERFECTION OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL FORMS OF PLATE AND RIBBED TRANSFER STRUCTURES FROM GLUED TIMBER

V.A. Utkin*, P.N. Kobzev,
Siberian State Automobile and Highway University,
Omsk, Russian
*kpn_omsk@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The paper presents the prefabricated whole-glued slab-ribbed superstructures, containing glued beams (fins) and a multi-layered wood-panel from horizontal cross-layers of blank boards, laid successively on glued beams and each other and interconnected by glue seams.

Materials and methods. Because of the development of the constructive and technological forms of the considered superstructures, the authors propose the structure composed of plate and ribbed integrally transported prefabricated sections with the width of 3-3.5 m. The authors highlight that the combined action of the detached sections is provided through the nodes of combination on the adjacent ribs of the sections without the complicated compression of all the elements of the superstructure including beams, plates, and diaphragms.

Results. The analysis of the stress-deformed span by two methods indicates that both methods determine, with a sufficient degree of accuracy, the nature of the distribution of stresses and strains in sections of the structure. Moreover, the obtained values of the maximum deflections and stresses do not exceed the limit values established by the norms and the corresponding values in a similar construction of the structure with a solid timber slab.

Conclusions. The paper shows that the proposed construction with the division of the whole-glued multi-ribbed span structure into separate prefabricated, factory-made sections would significantly expand the usage of laminated wood in bridge construction.

KEYWORDS: full-glued span structure, lateral reduction, multi-layer timber with cross-planks, slab-ribbed construction of factory production.

© V.A. Utkin, P.N. Kobzev



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

ВВЕДЕНИЕ

В конце прошлого и начале нашего столетия за рубежом нашли применение деревянные мосты с пролетными строениями из клееной древесины [1,2,3,4,5,6]. При этом наибольшее распространение получили плитные, плитно-ребристые и коробчатые системы. Характерной особенностью этих конструкций является устройство горизонтальных плит (блоков) из продольных досок «на ребро» посредством склеивания и поперечного обжатия усилиями напрягаемых арматурных стержней [7,8,9,10,11,12]. По данным США, срок службы мостов из клееной древесины за счет обработки консервирующими составами равен 50 годам, а при применении защитных конструк-

тивных мероприятий может быть увеличен до 100 лет [13].

Вместе с указанными положительными качествами пролетные строения с обжимаемой поперек древесиной нуждаются в течение срока эксплуатации в периодическом контроле за усилиями натяжения в стержнях и в доведении их до проектных. В итоге это приводит к увеличению эксплуатационных затрат на содержание таких мостов.

На кафедре «Мосты и тоннели» СибАДИ разработаны дощато-клееные пролетные строения, отличающиеся от зарубежных конструкций деревоплиты способом объединения ее с балками [патент № 2204644 С2. Дощато-клееное пролётное строение. – 20.05.2003;

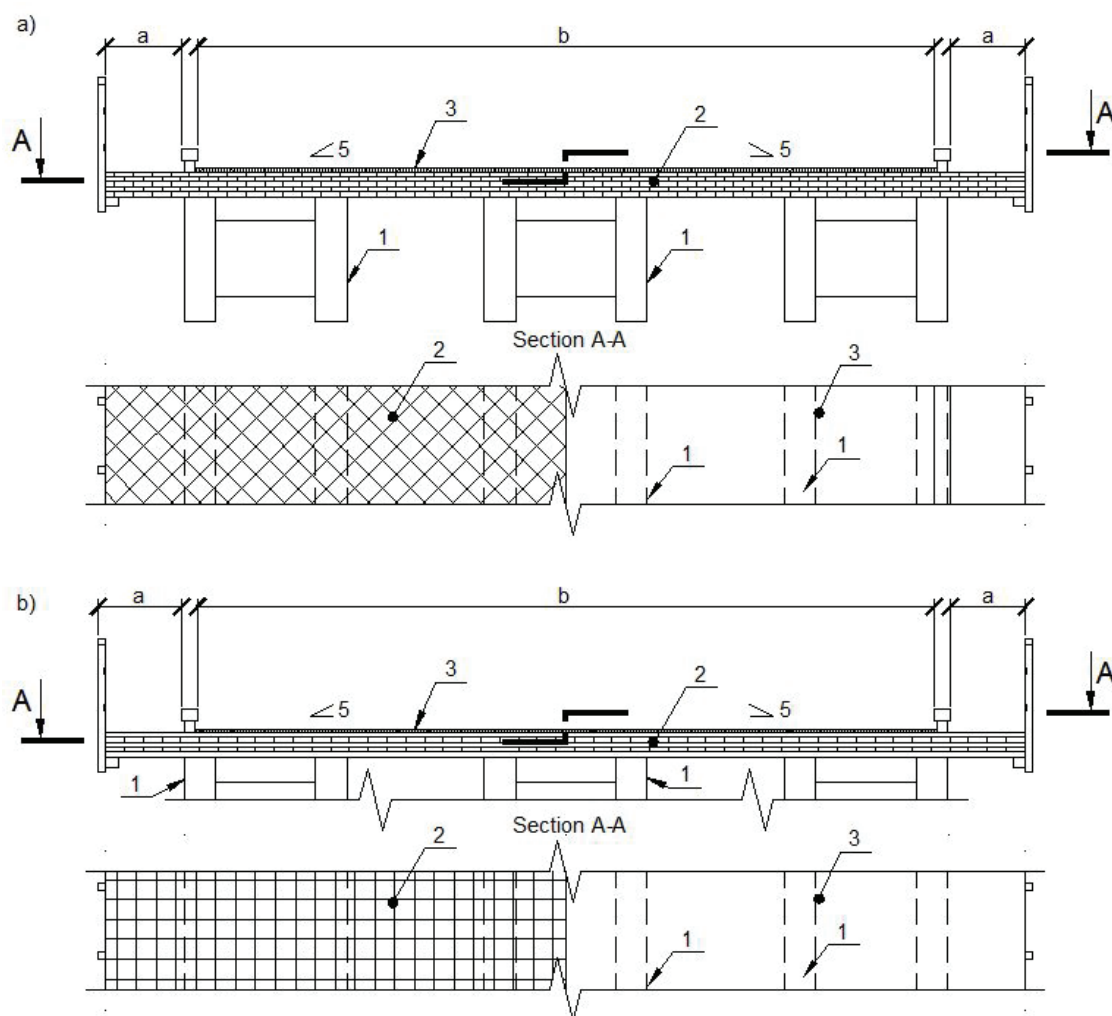


Рисунок 1 – Конструкция пролетного строения с деревоплитой из перекрестных досок (ламелей):
1 – клееные балки; 2 – деревоплита; 3 – проезжая часть

Figure 1 – Span timber structure with cross boards (lamellae):
1 – glued beams; 2 – timber plate; 3 – carriageway

патент № 2258110 С1. Дощато-клееное пролетное. – 08.2005]. Применение специальных конструктивных решений позволяет снизить эксплуатационные затраты и повысить долговечность мостов из клееной древесины.

Конструктивные особенности предложенных решений рассмотрены на рисунке 1. Ортогональные слои деревоплиты из досок (ламель) на рисунке 1,а размещены под углом 45° к продольной оси пролета, на рисунке 1,б – под углом 90° для нечетных слоев и 0° для четных.

Положительные стороны проекта: 1) деревоплита с горизонтальными ламелями может быть устроена без подуклонки; 2) количество вертикальных швов между ламелями в плите в несколько раз меньше, чем в плите из вертикальных досок, и все они перекрыты; 3) улучшенные защитные свойства деревоплиты; 4) более длительный срок службы всей конструкции.

С целью изучения совместной работы многослойных деревоплит с балками были проведены теоретические и экспериментальные исследования деревоплит, определены значения упругих характеристик деревоплит с нечетным числом слоев (от 5 до 11) при ориентации их по заданным направлениям.

В соответствии с рекомендациями С.Г. Лехницкого [14] и С.А. Амбарцумяна [15] многослойные плиты могут быть представлены однослойными ортотропными пластинками с приведенными упругими характеристиками. Это предположение было положено в основу разработки методики расчета рассматриваемых плитно-ребристых систем из композитной клееной древесины.

Пространственная работа данных многоребристых систем была исследована с использованием метода перемещений Александрова А.В. [16] и метода конечных элементов на основе BK COSMOS/M [17].

Расчет 8-ребристого пролетного строения с ребрами 20×120×1500 см и пятислойной деревоплитой 16,5×1040×1500 см показал:

1. Совпадающий характер распределения нормальных напряжений в ребрах.
2. Численные значения нормальных напряжений, вычисленных двумя методами, незначительно отличаются между собой.
3. Несущая способность плитно-ребристой конструкции с продольно-поперечными слоями деревоплиты на 20% выше конструкции с направлением слоев плиты под углом 45°.

Таким образом, многослойная клееная деревоплита с ориентацией слоев по главным

направлениям может быть рекомендована для преимущественного применения как в плитных, так и плитно-ребристых пролетных строениях мостов. Для плитно-ребристых систем с пролетами 15 – 24 метров разработаны следующие параметры конструкции:

- расстояние между ребрами при толщине 20 см – 1,2...1,6 м;

- высота балок при пятислойной деревоплите из досок толщиной 32 мм – 1/12 длины пролета;

- высота балок при семислойной деревоплите из досок толщиной 32 мм – 1/10 длины пролета.

Предполагается, что клееные балки и доски-заготовки для многослойной плиты изготовлены на современных предприятиях по производству клееной древесины удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к заготовкам, доставлены на место строительства в защищенном от увлажнения виде. Выполнение операций склеивания на месте строительства предусматривает строгое соблюдение всех требований, предъявляемых к материалам, условиям выполнения работ, режимам, технологиям, рекомендациям, наработанным практикой и исследованиями специалистов.

Согласно [18] и независимо от способа запрессовки по всей площади склеивания и высоте пакета должно быть обеспечено приложение равномерного давления интенсивностью 0,5–1,0 МПа.

Предложенная авторами технология изготовления многослойной деревоплиты на месте строительства предусматривает последовательное обжатие клеевых швов методом «гвоздевого прижима» [19].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Изучение отечественного и зарубежного опыта изготовления клееных конструкций [20] показывает, что изготовление предлагаемой деревоплиты в полевых условиях будет осложнено выполнением технологии склеивания, особенно в условиях с характерными для нашей страны климатическими чередованиями зимы и лета. В то же время изготовление пролетных строений в условиях специализированных производственных предприятий в целом виде не представляется возможным из-за условий транспортирования их к месту строительства.

Требования заводского изготовления ДКК и транспортирования их к месту строительства могут быть выполнены при продольном членении пролетного строения на цельно перевозимые

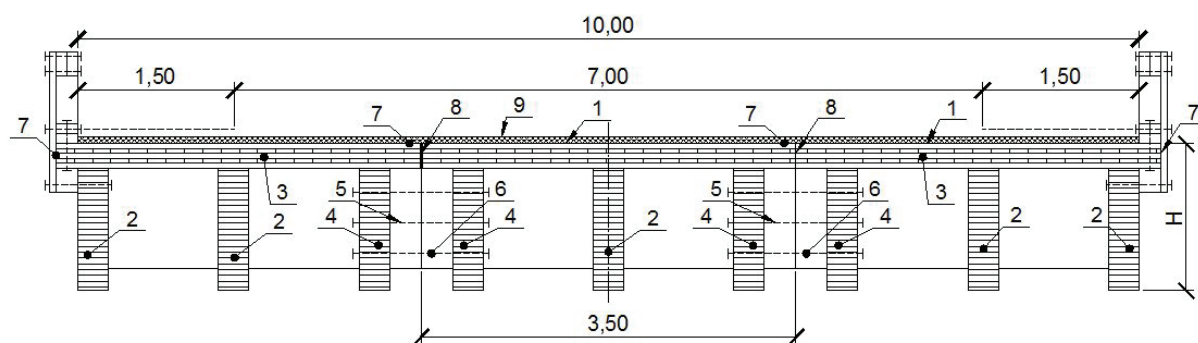


Рисунок 2 – Поперечное сечение пролетного строения для Г–10,0

Figure 2 – Cross section structure for 10.0

мые секции (блоки) с последующим объединением в единое целое на монтаже.

Авторами статьи разработана конструкция сборного многоребристого цельноклееного пролетного строения, состоящего из секций заводского изготовления [патент на полезную модель № 106258. Дощато-клееное пролетное строение моста заводского изготовления // Патентообладатель Сибирская автомобильно-дорожная академия. – 10.07.2011].

Объединяющими элементами конструкции являются смежные продольные ребра (балки) секций (рисунок 2).

Объединение секций производится обжатием клеевых швов между внешними ребрами жесткости продольных ребер посредством напрягаемых стальных стержней. Совместная работа отдельных секций обеспечивается за

счет узлов объединения смежных продольных ребер в одно сдвоенное. Между примыкающими деревоплитами секций устраиваются продольные деформационные швы.

Пролетное строение (см. рисунок 2) составлено из целно перевозимых секций 1, содержащих клееные балки 2 и многослойную клееную деревоплиту 3, объединяемых на монтаже по смежным ребрам (балкам) 4 посредством склеивания и обжатия вертикальных ребер жесткости 6 высокопрочными стальными стержнями 5. Верхняя поверхность деревоплиты 3, включая кромки 7, покрыта гидроизоляцией, а продольные швы 8 заполнены мастикой. Пролетное строение после объединения работает как стержневая система из тонкостенных секций с открытым контуром сечения.

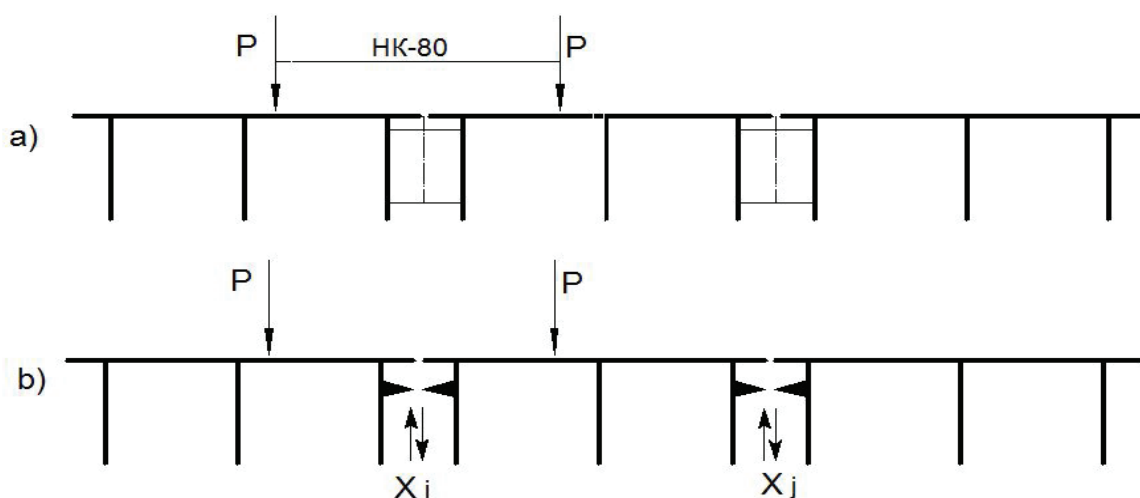


Рисунок 3 – Расчетная схема поперечного сечения пролетного строения (а) и основная система (б)

Figure 3 – Calculation scheme of cross section structure (a) and main system (b)

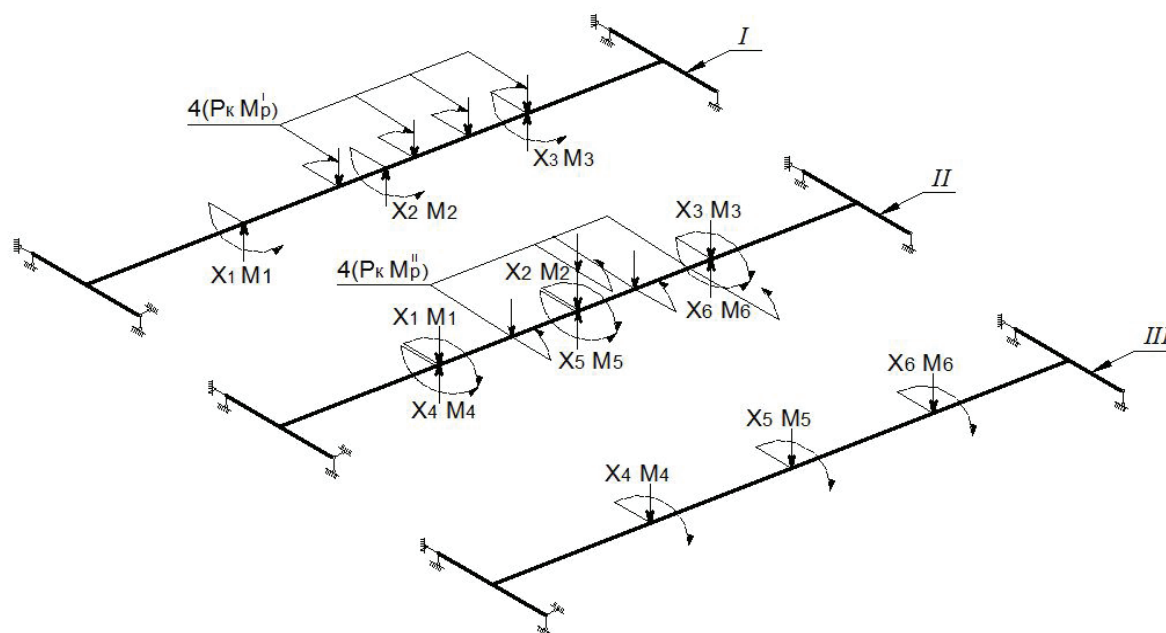


Рисунок 4 – Пространственная расчётная схема пролётного строения из цельно перевозимых секций (I, II, III)

Figure 4 – Spatial calculation scheme of span structure from seamlessly carried sections (I, II, III)

В основу исследований были положены допущения о приведении тонкой плиты из упругих анизотропных слоев к однородной пластинке с ортотропными свойствами [14,15], что позволило применить для расчета известные методы строительной механики и сопоставить результаты расчета с результатами метода конечных элементов. Сопоставимые по точности результаты были получены также при применении метода расчета по двум расчетным схемам [17].

На рисунке 3 представлены расчетная схема и основная система в разрезе при установке колесной нагрузки Н11 в крайнем положении.

Основная система (рисунок 3,б) образована путем введения в разрез по клеевому шву абсолютно жестких консолей, отбрасыванием лишних связей и замены их неизвестными поперечными силами X_i и X_j . Другие значения неизвестных (моменты и продольные силы) из-за их малого влияния не учтены. Ввиду эксцентричного приложения неизвестных и расчетной нагрузки к элементам основной системы возникает необходимость в учете как изгибающих, так и крутящих воздействий. При этом каждая секция основной системы может быть представлена с некоторым приближением в виде жесткого недеформируемого бруса [20]. Пространственная основная система рассматриваемого пролётного строения приведена на рисунке 4.

Условие совместности деформаций основной и заданной систем представлено в виде канонических уравнений метода сил в матричной форме

$$A\vec{X} + \vec{\Delta}_p = 0. \quad (1)$$

Здесь

$$A = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \dots & \delta_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n1} & \delta_{n2} & \dots & \delta_{nn} \end{bmatrix}, \vec{X} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_n \end{bmatrix}, \vec{\Delta}_p = \begin{bmatrix} \Delta_{1p} \\ \Delta_{2p} \\ \dots \\ \Delta_{np} \end{bmatrix},$$

где $\vec{X}$ – вектор неизвестных; $\vec{\Delta}_p$ – вектор грузовых перемещений; A – матрица коэффициентов канонических уравнений.

Определение коэффициентов δ_{ij} и свободных членов δ_{ij} с учетом кручения $\theta_{ij}^t, \theta_{ip}$ производится на основании следующих выражений:

$$\delta_{ij} = \delta_{ij}^f \pm \theta_{ij}^t \times \frac{B}{2}; \Delta_{ip} = \Delta_{ip}^f \pm \theta_{ip} \times \frac{B}{2}. \quad (2)$$

В этих выражениях осевые перемещения от изгиба отдельной секции основной системы, представленной жестким брусом, определяются по формуле Мора

$$\delta_{ij}^f = \sum \int \frac{\bar{M}_i \bar{M}_j}{EI} ds; \Delta_{ip}^f = \sum \int \frac{\bar{M}_i M_p}{EI} ds.$$

B – расстояние между крайними ребрами секции, углы закручивания в сечениях отдельной секции определяются по формулам теории кручения тонкостенных стержней [21].

Например, для двухопорного тонкостенного стержня пролетом l при нагружении сосредоточенным крутящим моментом M^{kp} угол закручивания определяется формулами:

для левого участка a :

$$\theta = \frac{M^{kp}}{k^3 EI_\omega} \left(\frac{kb}{l} z - \frac{shkb}{shkl} shkz \right), \quad (3)$$

для правого участка b :

$$\theta = \frac{M^{kp}}{k^3 EI_\omega} \left(\frac{ka}{l} (l-z) - \frac{shka}{shkl} shk(l-z) \right). \quad (4)$$

Напряженно-деформированные состояния заданной статически неопределимой системы и основной системы с учетом найденных значений неизвестных совпадают. В этом случае внутренние усилия и перемещения в этих двух системах будут одинаковыми и могут быть найдены на основе принципа независимости действия сил суммированием результатов всех воздействий X_i и P .

$$S_k = \bar{S}_{k1} X_1 + \bar{S}_{k2} X_2 + \dots + \bar{S}_{kn} X_n + S_{kP}. \quad (5)$$

Нормальные и касательные напряжения в сечениях элементов основной системы могут быть определены по известным формулам

$$\sigma_k = \frac{M_k y}{I} \pm \frac{B_{\omega k} \omega}{I_{\omega}}; \tau_k = \frac{Q_k S}{I b} \pm \frac{M_{\omega k} S_{\omega}}{I_{\omega} t} + \frac{M_{dk} t}{I_d}$$

где $M_k, M_{\omega k}, M_{dk}$ – моменты в сечении k (изгибающий, стесненного кручения и чистого кручения); $B_{\omega k}, Q_k$ – бимомент и поперечная сила в сечении k ; $S, S_{\omega}, I, I_{\omega}, I_d, y, \omega, t$ – геометрические характеристики сечения.

В качестве примера для расчета предложенным методом рассмотрено пролетное строение полной длиной 15,0 м, составленное (см. рисунок 5) из трех секций заводского изготовления, объединенных посредством обжатия (склеивания) ребер жесткости сопрягаемых продольных ребер (балок) секций [22]. Основные размеры поперечного сечения отдельной готовой секции приведены на рисунке 5. Расчетная нагрузка принята от тележки Н11.

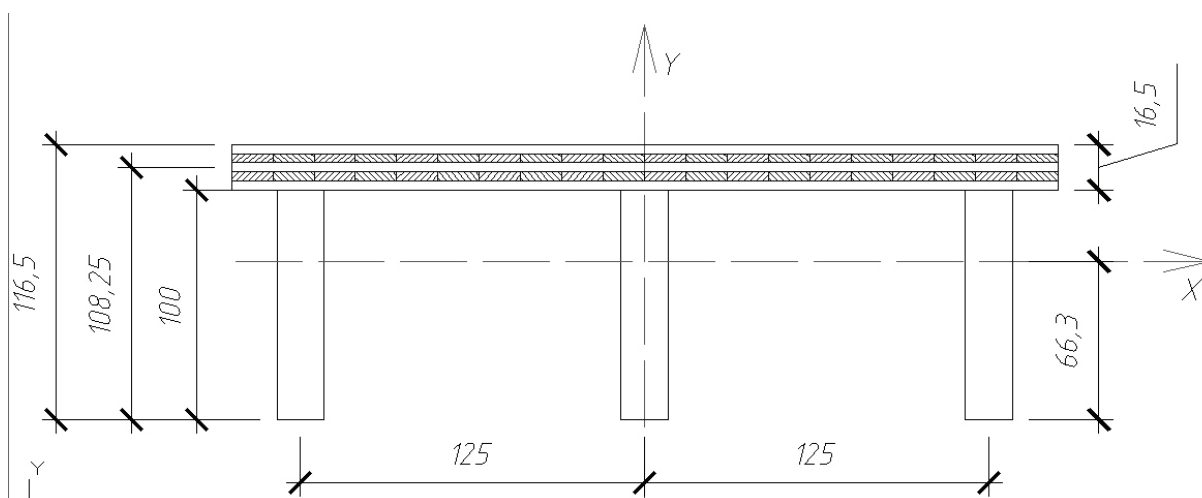


Рисунок 5 – Поперечное сечение отдельной секции пролетного строения

Figure 5 – Cross section of the separate structure section

Для сравнения и оценки достоверности полученного в результате решения принятой математической модели напряженно-деформированного состояния рассматриваемой конструкции был выполнен расчет ее методом конечных элементов. В качестве конечного элемента был принят многослойный четырехугольный элемент оболочки с возможностью учета мембранных и изгибающих сил.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты сравнения прогибов (рисунок 6) в нижних узлах ребер пролетного строения для середины и в трех четвертых длины пролета, полученные двумя способами, приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1
Значения прогибов в середине и трёх четвертях пролёта, см
TABLE 1
Values of deflections in the middle and three quarters of flight, cm

Сечение	Метод расчёта	Номера узлов нижнего пояса								
		2593	2837	3081	3325	3569	3813	4057	4301	4545
L/2	Метод сил	0,5	-0,3	-1,1	-1,45	-2,05	-2,65	-2,8	-2,68	-2,57
	МКЭ	0,05	-0,49	-1,14	-1,58	-2,73	-3,1	-3,15	-3,37	-2,8
Сечение	Метод расчёта	Номера узлов нижнего пояса								
		2608	2852	3096	3340	3584	3828	4072	4316	4560
3L/4	Метод сил	0,35	-0,2	-0,75	-0,93	-1,41	-1,85	-1,99	-1,9	-1,82
	МКЭ	0,05	-0,33	-0,79	-1,1	-1,87	-2,18	-2,2	-2,3	-1,97

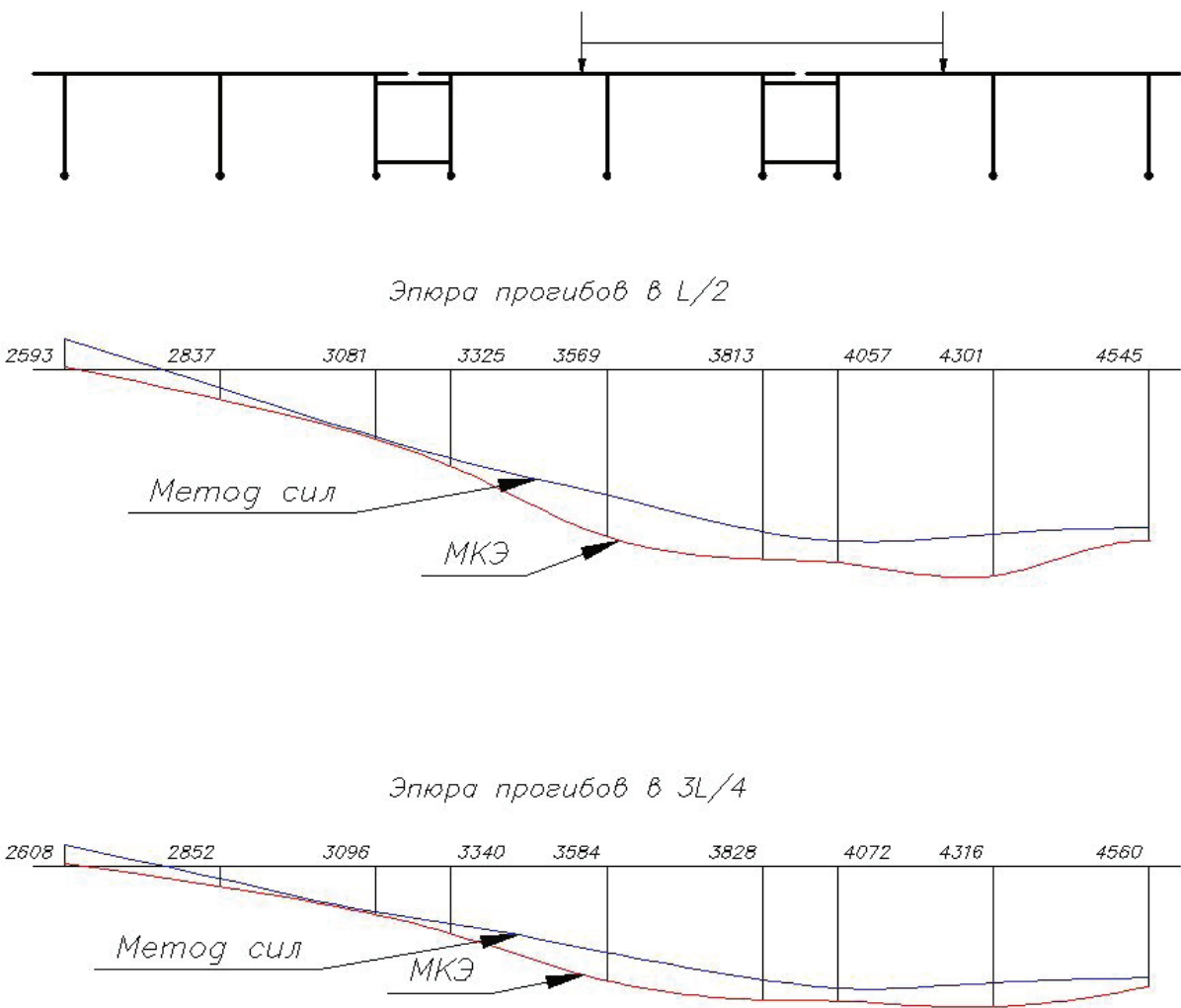


Рисунок 6 – Эпюры распределения прогибов в узлах нижнего пояса рёбер
Figure 6 – Diagrams of the deflection distribution in the nodes of the lower rib belt

Характер пространственного распределения прогибов и нормальных напряжений σ_x объединенной системы пролетного строения представлен на диаграммах а и б (рисунок 7). Напряженное состояние нижних волокон ребер в 1/2 и 3/4 пролетного строения приведено в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2
Нормальные напряжения в нижней фибре ребер в середине и трёх четвертях пролёта, МПа
TABLE 2
Normal tension of the lower edges in the middle and three quarters of flight, MPa

Сечение	Метод расчёта	Номера узлов нижнего пояса								
		2593	2837	3081	3325	3569	3813	4057	4301	4545
L/2	Метод сил	0,23	2,57	4,9	4,28	8,13	11	11,2	10,3	9,4
	МКЭ	-0,19	1,13	1,8	2,07	8,1	5,84	5,86	10,39	7,85
Сечение	Метод расчёта	Номера узлов нижнего пояса								
		2608	2852	3096	3340	3584	3828	4072	4316	4560
3L/4	Метод сил	0,5	1,5	2,5	3,2	5,59	7,9	7,2	6,96	6,67
МКЭ		-0,33	0,66	2,58	2,78	4,46	5,88	5,87	5,8	5,08

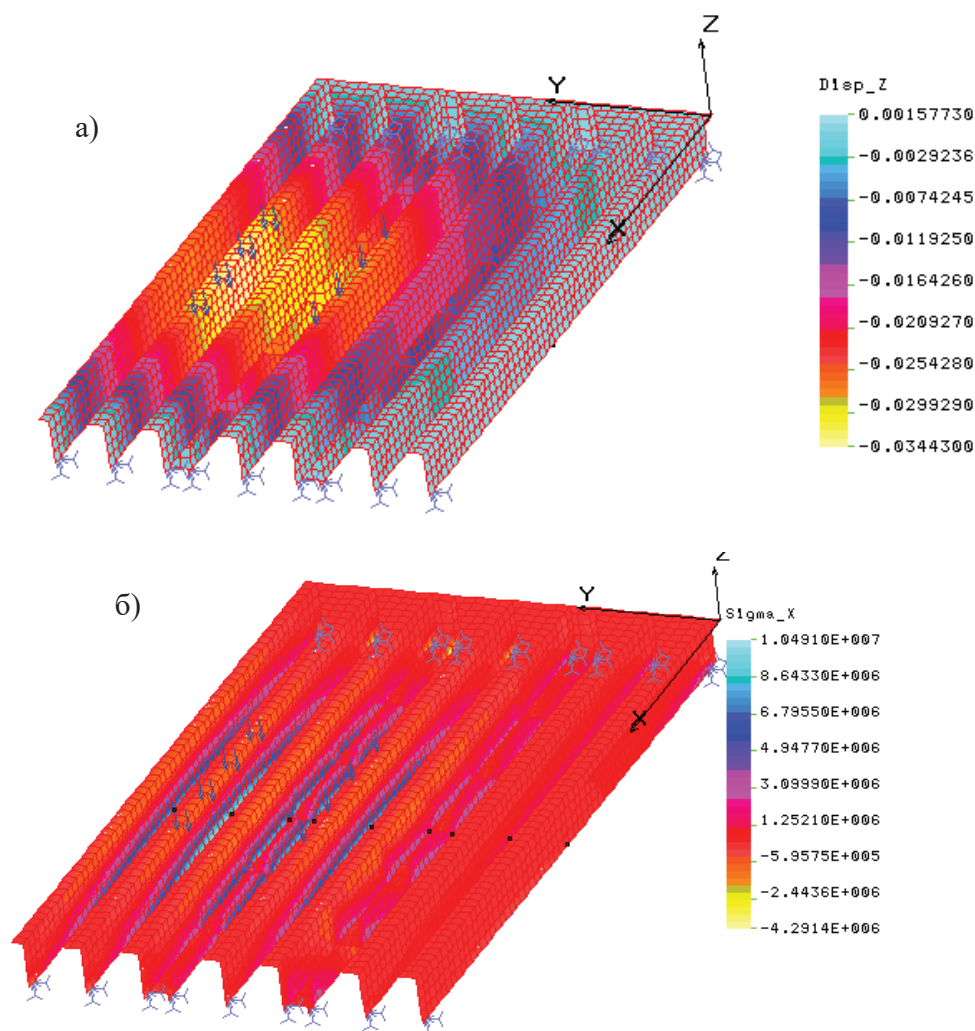


Рисунок 7 – Диаграммы пространственного распределения прогибов (а) и нормальных напряжений σ_x (б)

Figure 7 – Diagrams of spatial deflection distribution (a) and normal σ_x stresses (b)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ напряженно-деформированного исследуемого пролетного строения двумя методами свидетельствуют о том, что оба метода определяют с достаточной степенью точности характер распределения напряжений и деформаций в сечениях конструкции.

При этом полученные величины максимальных прогибов и напряжений не превышают установленных нормами предельных значений и соответствующих величин в аналогичной конструкции пролетного строения со сплошной деревоплитой.

Таким образом, предлагаемая конструкция членения цельноклееного многоребристого пролетного строения на отдельные сборные, изготавливаемые в заводских условиях, секции позволит существенно расширить область применения клееной древесины в мостостроении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уткин В.А., Кобзев П.Н. Автодорожные деревянные мосты нового поколения. Научное издание. Омск, 2004: Изд-во СибАДИ. 50 с.
2. Cesaro G. and Piva F. (2003): Timber Bridges – Design and durability. Master's Thesis in the International Master's programme in Structural Engineering/Department of Civil and Environmental Engineering Division of Structural Engineering Steel and Timber Structures. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY - Göteborg, Sweden 2003.
3. Agnieszka Gilun, Julia Meronk: Stress-laminated timber T-beam and box-beam bridges. Master's Thesis in the International Master's programme in Structural Engineering/Department of Civil and Environmental Engineering Division of Structural Engineering Steel and Timber Structures. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY - Göteborg, Sweden 2006. 125p.
4. Jobstl, R.A.; et. al. A Contribution to the Dising and System Effects of Cross Laminated Timber (CLT), Paper 39-12-4, Proceedings of CIB-W18, Florence, Italy, 2006.
5. Schickhofer, G.; Moosbrugger, T; (Ed.) Brettsperrholz – Ein Blick auf Forschung und Praxis. Proceedings, Gras University of Technology, Institute for Timber Engineering and Wood Technology, Gras. Austria, 2006 (in Germany).
6. Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures. HANDBOOK 1 Timber Structures. - September 2008. Pp. 63-100, 209-227.
7. Sheila R. Duwadi; Michael A.: Ritter Timber bridges in the United States. Pp 32-40 in Public roads Winter 1997, Vol 60, No.3.
8. Michael A. Ritter; Thomas G. Williamson; Russell C. Moody: Innovation in glulam timber bridge design. Pp 1298-1303 in Baker, N.C.; Goodno, B.J. (Ed.) Structures Congress 12: Proceedings of Structures Congress '94; 24-28 April 1994; Atlanta, GA. New York: American Society of Civil Engineers; 1994, Vol.2.
9. Keith Crews; Stephen Bakoss: Fundamental structural behavior of "Built-up" stress-laminated timber bridge decks. Pp 39-48 in Ritter, M.A.; Duwadi, S.R.; Lee, P.D.H. (Ed.) National Conference on Wood Transportation structures; 23-25 October 1996, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory.
10. James A. Kainz; James P. Wacker; Michael A. Ritter; Stan Bishop: Field performance of timber bridges: 21. Humphrey stress-laminated T-beam bridge. Res. Rap. FPL-RP-597. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory. 16 p.
11. James P. Wacker; Michael A. Ritter; Kim Stanfill-McMillan; Nikki T. Broun; Jonathon R. Becker: Field performance of timber bridges: 11. Spearfish Creek stress-laminated box-beam bridge. Res. Rap. FPL-RP-556. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory. 17 p.
12. Otto Kleppe; Eric Aasheim: Timber bridges in Nordic countries. Pp 10-16 in Ritter, M.A.; Duwadi, S.R.; Lee, P.D.H. (Ed.) National Conference on Wood Transportation structures; 23-25 October 1996, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory.
13. Tormod Dyken: Tynset Bridge. Nordic Road & Transport Research No.1. 2002.
14. Лехницкий С.Г. Анизотропные пластинки. М.: Гостехиздат, 1957. 464 с.
15. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных пластин. Прочность, устойчивость и колебания. М.: Издательство «Наука». 1967. 268 с.
16. Александров А.В., Лащеников Б.Я., Шапошников Н.Н., Смирнов В.А. Методы расчета стержневых систем, пластин и оболочек с использованием ЭВМ в 2-х частях. М.: Стройиздат, 1976. Ч.1. 248 с. Ч.2. 237 с.
17. Уткин В.А., Кадисов Г.М. О методах пространственного расчета балочных пролетных строений деревянных мостов с многослойной проезжей частью из клееной древесины // Известия вузов. Строительство. 2007. № 6. Новосибирск. С. 98–104.

18. Кувшинов А.П. Выбор внешнего давления при склеивании деревянных клееных конструкций. Реф. инф. Серия IV «Строительная индустрия», 1976. Вып. 12. С. 12 – 14.

19. Уткин В.А. Технология изготовления пролетных строений из клееной древесины с многослойной плитой проезжей части // Строительные материалы. 2007. №5. С.31–34.

20. Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций. Изд. третье, переработанное и дополненное. М.: РИФ «Стройматериалы», 2005. 336 с.

21. Поливанов Н.И. Железобетонные мосты на автомобильных дорогах. М.: Научно-техническое издательство автотранспортной литературы, 1956. С.288–297.

22. Уткин В.А. Проектирование и строительство балочного пролетного строения из клееной древесины // Проблемы прочности материалов и сооружений на транспорте. Сборник докладов IX Международной конференции по проблемам прочности материалов и сооружений на транспорте. СПб, 2015. С. 206–215.

REFERENCES

1. Utkin V.A., Kobzev P.N. *Avtodorozhnye derevjannye mosty novogo pokolenija* [Road wooden bridges of new generation]. Nauchnoe izdanie. Omsk, 2004: Izd-vo SibADI. 50 p. (in Russian)

2. Cesaro G. and Piva F. (2003): Timber Bridges – Design and durability. Master's Thesis in the International Master's programme in Structural Engineering/Department of Civil and Environmental Engineering Division of Structural Engineering Steel and Timber Structures. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY - Göteborg, Sweden 2003.

3. Agnieszka Gilun, Julia Meronk: Stress-laminated timber T-beam and box-beam bridges. Master's Thesis in the International Master's programme in Structural Engineering/Department of Civil and Environmental Engineering Division of Structural Engineering Steel and Timber Structures. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY - Göteborg, Sweden 2006.125 p.

4. Jobstl, R.A.; et. al. A Contribution to the Dising and System Effects of Cross Laminated Timber (CLT), Paper 39-12-4, Proceedings of CIB-W18, Florence, Italy, 2006.

5. Schickhofer, G.; Moosbrugger, T; (Ed.) Brettsperrholz – Ein Blick auf Forschung und Praxis. Proceedings, Gras Univerversity of Technology, Institute for Timber Engineering and Wood Technology, Gras. Austria, 2006 (in Germany).

6. Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures. HANDBOOK 1 Timber Structures. September 2008. P. 63–100, 209–227.

7. Sheila R. Duwadi; Michael A.: Ritter Timber bridges in the United States. P. 32–40 in Public roads Winter 1997, Vol 60, No.3.

8. Michael A. Ritter; Thomas G. Williamson; Russell C. Moody: Innovation in glulam timber bridge design. Pp 1298-1303 in Baker, N.C.; Goodno, B.J. (Ed.) Structures Congress 12: Proceedings of Structures Congress '94; 24-28 April 1994; Atlanta, GA. New York: American Society of Civil Engineers; 1994, Vol.2.

9. Keith Crews; Stephen Bakoss: Fundamental structural behavior of "Built-up" stress-laminated timber bridge decks. P. 39–48 in Ritter, M.A.; Duwadi, S.R.; Lee, P.D.H. (Ed.) National Conference on Wood Transportation structures; 23–25 October 1996, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory.

10. James A. Kainz; James P. Wacker; Michael A. Ritter; Stan Bishop: Field performance of timber bridges: 21. Humphrey stress-laminated T-beam bridge. Res. Rap. FPL-RP-597. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory. 16 p.

11. James P. Wacker; Michael A. Ritter; Kim Stanfill-McMillan; Nikki T. Broun; Jonathon R. Becker: Field performance of timber bridges: 11. Spearfish Creek stress-laminated box-beam bridge. Res. Rap. FPL-RP-556. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory. 17 p.

12. Otto Kleppe; Eric Aasheim: Timber bridges in Nordic countries. Pp 10-16 in Ritter, M.A.; Duwadi, S.R.; Lee, P.D.H. (Ed.) National Conference on Wood Transportation structures; 23–25 October 1996, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory.

13. Tormod Dyken: Tynset Bridge. Nordic Road & Transport Research No.1. 2002.

14. Lehnitskij S.G. *Anizotropnye plastinki* [Anisotropic plates]. Moscow, Gostehizdat, 1957. 464 p. (in Russian)

15. Ambartsumjan S.A. *Teorija anizotropnyh plastin. Prochnost' ustojchivost' i kolebanija* [Theory of anisotropic plates. Durability stability and fluctuations]. Moscow, Izdatel'stvo «Nauka». 1967. 268 p. (in Russian)

16. Aleksandrov A.V., Laschenikov B.Ja., Shaposhnikov N.N., Smirnov V.A. *Metody rascheta sterzhnevnyh sistem, plastin i obolochek s ispol'zovaniem 'EVM v 2-h chastjah*. [Methods

of the rod systems calculation, plates and covers with the computer, in 2 parts]. Moscow, Strojizdat, 1976. Ch.1. 248 p. Ch.2. 237 p. (in Russian)

17. Utkin V.A., Kadisov G.M. O metodah prostranstvennogo rascheta balochnyh prolethnyh stroenij derevjannyh mostov s mnogoslojnoj proezzhej chast'ju iz kleenoy drevesiny [On methods of spatial calculation of frame flying structures of wooden bridges with the multilayered glued wood]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*, 2007, no 6, g. Novosibirsk, P.98–104. (in Russian)

18. Kuvshinov A.P. Vybora vneshnego davlenija pri skleivanii derevjannyh kleenych konstruktsij. [Choice of external pressure when pasting wooden glued designs] *Ref. inf. Serija IV Stroitel'naja industrija*, 1976. Vyp. 12, P. 12–14. (in Russian)

19. Utkin V.A. Tehnologija izgotovlenija prolethnyh stroenij iz kleenoy drevesiny s mnogoslojnoj plitoj proezzhej chaste [Manufacturing techniques of structures from glued wood with a multilayered plate of the carriageway]. *Stroitel'nye materialy*, 2007, no 5, P. 31–34. (in Russian)

20. Koval'chuk L.M. *Proizvodstvo derevjannyh kleenych konstruktsij. Izd. tret'e pererabotannoe i dopolnennoe* [Production of wooden glued designs]. Moscow, RIF «Strojmaterialy», 2005. 336 p. (in Russian)

21. Polivanov N.I. *Zhelezobetonnye mosty na avtomobil'nyh dorogah* [Reinforced concrete bridges on highways]. Moscow, Nauchno-tehnicheskoe izdatel'stvo avtotransportnoj literatury, 1956. P. 288–297. (in Russian)

22. Utkin V.A. Proektirovanie i stroitel'stvo balochnogo prolethnogo stroenija iz kleenoy drevesiny [Design and construction of the frame structures from glued wood]. *Problemy prochnosti materialov i sooruzhenij na transporte. Sbornik dokladov IX Mezhdunarodnoj konferentsii po problemam prochnosti materialov i sooruzhenij na transporte*. Sankt-Petersburg, 2015. P. 206–215. (in Russian)

Поступила 25.12.2018, принята к публикации 22.02.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Уткин Владимир Александрович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Мосты и тоннели» ФГБОУ ВО «СибАДИ», ORCID 0000-0002-2044-3242 (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: prof.utkin@mail.ru).

Кобзев Павел Николаевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Мосты и тоннели» ФГБОУ ВО «СибАДИ», ORCID 0000-0003-0947-6227 (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: kpn_omsk@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Utkin Vladimir Alexandrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Bridges and Tunnels Department, Siberian State Automobile and Highway University, ORCID 0000-0002-2044-3242 (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: prof.utkin@mail.ru).

Kobzev Pavel Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Bridges and Tunnels Department, Siberian State Automobile and Highway University, ORCID 0000-0003-0947-6227 (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: kpn_omsk@mail.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Каждый автор внес равную долю участия в теоретические и экспериментальные разделы статьи.

AUTHORS CONTRIBUTION

The authors have equal contribution to theoretical and experimental sections of the paper.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ, ПРЕДСТАВЛЯЕМОЙ В РЕДАКЦИЮ ЖУРНАЛА

Для публикации принимаются рукописи по направлениям: Транспорт. Транспортные и технологические машины; Строительство. Строительные материалы и изделия; Редакция принимает к рассмотрению **оригинальные научные статьи** объемом 8–10 стр. машинописного текста через 1 интервал, 5–8 рисунков и (или) таблиц, 20–40 ссылок; **обзорные статьи** – (критическое обобщение какой-то исследовательской темы) – от 10 и более страниц, от 5 и более рисунков, до 80 ссылок.

Статья должна быть неопубликованной ранее в других изданиях, написана в контексте современной литературы, обладать новизной и соответствовать профилю журнала. Автор отвечает за достоверность сведений, точность цитирования и ссылок на официальные документы и другие источники. Редакция принимает на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи, сотрудниками редакции, членами редколлегии, а также рецензентами данной работы. В случае обнаружения одновременной подачи рукописи в несколько изданий статья будет **ретрагирована** (отозвана из печати).

Следует уделить особенное внимание качеству перевода. Недопустимо при переводе пользоваться машинами-переводчиками. Перевод должен быть выполнен профессиональными переводчиками, а лучше – носителем английского языка. Необходимо учесть, что законодательство охраняет права переводчиков авторским правом наравне с правами авторов оригинальных произведений. Перевод текста – творческий процесс, производный объект авторского права, т.е. переводчик – соавтор нового произведения.

1. УДК. На первой странице, слева в верхнем углу без отступа, указываются индекс по универсальной десятичной классификации (УДК) (размер шрифта 10 пт).

2. Заглавие статьи. Заголовок (максимально 10–12 слов) должен быть информативным, лаконичным, соответствовать научному стилю текста, содержать основные ключевые слова, характеризующие тему (предмет) исследования и содержание работы. Приводится на русском и английском языках, по центру полужирным шрифтом размером 12 пт. прописными буквами.

3. Фамилии авторов. Количество авторов не должно превышать четырех. Для англоязычных метаданных важно соблюдать вариант написания сведений об авторе в последовательности: полное имя, инициал отчества, фамилия (Anna V. Ivanova). При латинизации фамилии можно воспользоваться системой 1 BSI – Британский Институт Стандартов (British Standards Institution) транслитерации на сайте <http://translit.ru>, при этом необходимо выбрать вариант стандарта, например, BSI. Перечень авторов располагается после заголовка статьи обычным шрифтом (размер шрифта 12 пт.).

4. Аннотация. Аннотация включает характеристику основной темы, проблемы объекта, цели исследования, основные методы, результаты исследования и главные выводы. В аннотации необходимо указать, что нового несет в себе научная статья в сравнении с другими, родственными по тематике и целевому назначению, объем от 150 до 250 слов. Структура аннотации представлена на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Приводится на русском и английском языках. Начинается словом «Аннотация» с прописной буквы (шрифт полужирный, курсив, 10 пт); точка; затем с прописной буквы текст (курсив, 10 пт).

5. Ключевые слова служат ориентиром для читателя и используются для поиска статей в электронных базах, поэтому должны отражать дисциплину (область науки, в рамках которой написана статья), тему, цель и объект исследования. Рекомендуемое количество ключевых слов – 10–12, количество слов внутри ключевой фразы – не более трех.

Размещаются после аннотации, на русском и английском языках.

6. Благодарности. Раздел включен в требования всеми крупными издательствами. В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам.

7. Основные положения. Отражают ключевые результаты исследования, основное содержание статьи, изложенные тезисно и оформленные в виде 3–5 пунктов маркированного списка.

8. Основной текст статьи излагается на русском или английском языках, в электронном и бумажном виде (шрифт «Arial» (10 пт), отступ первой строки 0,6 см, межстрочный интервал одинарный), в следующей последовательности:

Введение (1–4 стр.) В этом разделе описываются общая тема исследования, цели и задачи планируемой работы, теоретическая и практическая значимость, приводятся наиболее известные и авторитетные публикации по изучаемой теме, обозначаются нерешенные проблемы. Данный раздел должен содержать обоснование необходимости и актуальности исследования. Информация во Введении должна быть организована по принципу «от общего к частному».

Подразделы введения представлены на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Методы и материалы (от 2 стр. и более) В этом разделе в деталях описываются методы, которые использовались для получения результатов. Обычно сначала дается общая схема экспериментов/исследования, затем они представляются настолько подробно и с таким количеством деталей, чтобы любой компетентный специалист мог воспроизвести их, пользуясь лишь текстом статьи. Более подробно содержание раздела представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Результаты. В этом разделе представлены экспериментальные или теоретические данные, полученные в ходе исследования. Результаты даются в обработанном варианте: в виде таблиц, графиков, организационных или структурных диаграмм, уравнений, фотографий, рисунков. В этом разделе приводятся только факты. Если было получено много похожих зависимостей, представляемых в виде графиков, то приведите только один типичный график, а данные об имеющихся количественных отличиях между ними, представьте в таблице.

Способы представления результатов представлена на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

Обсуждение и заключение. Раздел содержит интерпретацию полученных результатов исследования, предположения о полученных фактах, сравнение полученных собственных результатов с результатами других авторов. Более подробно содержание раздела представлено на сайте журнала vestnik.sibadi.org.

9. Библиографический список (References)

В библиографический список включаются только те источники, которые автор использовал при подготовке статьи. Оформление библиографического списка регламентируется ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Ссылаться нужно в первую очередь на оригинальные источники из научных журналов, включенных в глобальные индексы цитирования. Желательно использовать 20–40 источников, но не более 50. Из них за последние 3 года – рекомендуется указать не менее 20, иностранных – не менее 15. Важно правильно оформить ссылку на источник.

Следует указать фамилии авторов, журнал (электронный адрес), год издания, том (выпуск), номер, страницы, DOI или адрес доступа в сети Интернет.

Источники указываются в конце статьи в алфавитном порядке либо в порядке упоминания в тексте статьи.

Приводится на русском языке и в латинице по образцу, представленному на сайте журнала.

Аффилиация. Фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, ORCID i, Scopus Author ID, ResearcherID, далее указать все места работы, должность, название организации, служебный адрес, электронная почта, телефон, e-mail. Приводится на русском и английском языках.

Технические требования к оформлению.

Формат A4, шрифт Arial (10 pt), 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 подрисункной 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 – подрисункные 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. Корректурa 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.

Контактная информация:

e-mail: vestnik_sibadi@sibadi.org;

Почтовый адрес редакции: 644080, г. Омск, просп. Мира. 5. ФГБОУ ВО «СибАДИ».

Редакция научного рецензируемого журнала Вестник СибАДИ / The Russian Automobile and Highway Industry Journal, издательско-полиграфический комплекс: 644080, г. Омск, ул. 2-я Поселковая, д. 1.

Тел. (3812) 65-88-30.

Редактор – ответственный секретарь «Вестника СибАДИ» – Куприна Татьяна Васильевна

Поступившие в редакцию материалы не возвращаются.

Гонорары не выплачиваются.

Все статьи публикуются бесплатно.

Информация о научном рецензируемом журнале Вестник СибАДИ / The Russian Automobile and Highway Industry Journal размещена на сайте: <http://vestnik.sibadi.org>