



# ТРАНСПОРТ ШЁЛКОВОГО ПУТИ

№ 3-4



## EDITORIAL TEAM

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1. **Mirakhmedov, Makhamedjan Mirakhmedovich**, DSc, Professor - Chief Editor,  
Tashkent Institute of Railway Engineers (Uzbekistan).  
**Мирахмедов Махамаджан Мирахмедович**, д.т.н., профессор - главный редактор,  
Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (Узбекистан).
2. **Adilkhojaev, Anvar Ishanovich**, DSc, Professor,  
Vice-rector of the Tashkent Institute of Railway Engineers (Uzbekistan).  
**Адылходжаев Анвар Ишанович**, д.т.н., профессор,  
Проректор Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта (Узбекистан).
3. **Ibragimov, Umidulla Nazrillaevich**, Ph.D., Senior Researcher,  
Chairman of the NGO “Research Informatization Center” – the Founder of the Magazine,  
Head of the Main Department of Logistics Development and Digitalization  
of Uzbekistan Temir Yollari JSC (Uzbekistan).  
**Ибрагимов Умидулла Назриллаевич**, к.т.н., с.н.с.,  
Директор ННО «Научно-исследовательский информатизационный центр»  
Начальник Главного управления развития логистики и цифровизации  
АО «Узбекистон темир йуллари» (Узбекистан).
4. **Sladkovsky, Alexander Valentinovich**, DSc, Professor,  
Head of the Department of Logistics and Transport Technologies,  
Deputy Dean for Research, Transport Department,  
Silesian University of Technology (Poland).  
**Сладковский Александр Валентинович**, д.т.н., профессор,  
Зам. декана по научной работе транспортного департамента,  
Зав. кафедрой логистики и транспортных технологий,  
Силезский технологический университет (Польша)
5. **Blazhko, Lyudmila Sergeevna**, DSc, Professor, Head of the Department – Railway Track,  
The First Vice-Rector of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (Russia).  
**Блажко Людмила Сергеевна**, д.т.н., профессор, зав. каф. «Железнодорожный путь»,  
Первый проректор Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I (ПГУПС) (Россия).
6. **Pshinko, Alexander Nikolaevich**, DSc, Professor, Rector,  
Academician V. Lazaryan Dnipro National University of Railway Transport (Ukraine).  
**Пшинько Александр Николаевич**, д.т.н., проф., ректор,  
Днепровский национальный университет железнодорожного транспорта  
имени академика В. Лазаряна (Украина).
7. **Boronenko, Yuri Pavlovich**, DSc, Professor, Head of the Department of Wagons and Wagon Economy,  
St. Petersburg State University of Railway Engineering (Russia).  
**Бороненко Юрий Павлович**, д.т.н., профессор, зав. каф. «Вагоны и вагонное хозяйство»,  
Санкт Петербургский государственный университет путей сообщения СПГУПС (Россия)
8. **Uljabaev, Kamal Uljabaevich**, DSc., Professor,  
Academician of the International Academy of Transport,  
CEO of a private enterprise «TRANS EKO» (Uzbekistan).  
**Ульджабаев Камал Ульджабаевич**, д.э.н., профессор,  
академик Международной академии транспорта,  
ген. директор ЧП «TRANS EKO».
9. **Gelashvili, Otar**, DSc, Professor, Dean,  
Georgian Technical University (Georgia).  
**Гелашвили Отар**, д.т.н., профессор,  
Декан Грузинского технического университета (Грузия).

10. **Mukhitdinov, Akmal Anvarovich**, DSc, Professor,  
Head of the Department Operation of Road Transport,  
Tashkent Institute of Design, Construction and Operation of Roads (Uzbekistan).  
**Мухитдинов Акмал Анварович**, д.т.н., профессор,  
Зав. каф. «Эксплуатация автомобильного транспорта»,  
Ташкентский институт по проектированию, строительству и  
эксплуатации автомобильных дорог (Узбекистан).
11. **Pencheva, Velizara**, Ph.D, Prof.,  
University of Ruse named after A. Kanchev (Bulgaria).  
**Пенчева Велизара**, Ph.D., профессор,  
Рузский университет им. А.Канчева (Болгария).
12. **Kerimov, Kamil Fikratovich**, Ph.D., Head of the "System and Applied Programming" Department,  
Tashkent University of Information Technology named after Muhammad Al-Khorazmi (Uzbekistan).  
**Керимов Комил Фикратович**, к.т.н., зав. каф. "Системное и прикладное программирование",  
Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада Ал-Хоразми (Узбекистан).
13. **Mocan, Marian**, Prof.Dr.Eng., Dean of the Faculty of Management in Production and Transportation,  
Politehnica University Timisoara (Romania).  
**Мокан Мариан**, профессор, декан фак. Управление производством и транспорт,  
Тимишоарский политехнический университет (Румыния).

## **ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА**

Ежеквартальный электронный научно-технический журнал «Транспорт шелкового пути» — уникальное в Узбекистане и мировой практике издание. С 2019 года журнал начинает знакомить русскоговорящих читателей с отечественными и зарубежными научными работами, а также опытом инновационной деятельности по всем видам транспорта, касающиеся вопросов исследования, проектирования, строительства, текущего содержания и ремонта инфраструктуры, прежде всего, пути, дорог, трубопроводов, наземного подвижного состава, водного и воздушного средств доставки, внедрения информационных технологий, устройств СЦБ и связи, перспектив развития сети и транспортных коридоров в историческом, научно-техническом, перспективе развития, экономики и других аспектов транспорта.

«Транспорт шелкового пути» — единственное периодическое издание на территории стран СНГ, которое планирует публикует статьи авторитетных специалистов-практиков по видам транспорта.

Важной задачей журнала является информирование читателей о ключевых событиях и внедрении инновационных технологий.

Периодичность издания: 4 раза в год. Все выпуски журнала выставляются в интернет пространство в открытом доступе.

Свидетельство о регистрации СМИ №1321 от 23.10.2019 г

ISSN: 2781-0710.

Главный редактор: профессор Мирахмедов Махамад Мирахмедович.

В журнале публикуются только оригинальные статьи, имеющие международное значение. Статьи публикуются на русском языке. Статьи для журнала рецензируются анонимно сторонними рецензентами, которые отбираются из числа специалистов по тематике рецензируемых материалов.

Подача статей в журнал осуществляется в электронном виде через личный кабинет в ЭЛЕКТРОННОЙ РЕДАКЦИИ журнала.

### **Контактная информация**

На сайте редакции aitm.uz в открытом доступе размещены на английском, узбекском и русском языках название статьи, ее аннотация, ключевые слова, информация об авторах. Полные тексты статей в обязательном порядке выкладываются на интернет-ресурсе.

В журнале под соответствующими рубриками публикуются научные статьи проблемного и научно-практического характера, отражающие достижения современной научной мысли в области техники, технологии и их истории, экономики, управления, финансов, строительства и права.

Идет прием статей в журнал №1, 2020 г.

Контакты: 100060, г. Ташкент, Проспект Амира Тимура, 4.

Тел.: (+998 71)-238-82-75, (+998 90) 925-87-08.

E-mail: mirakhmedovm@mail.ru, nno.niits@inbox.ru

# **Транспорт Шёлкового Пути**

**Выпуск 3-4**

## **СОДЕРЖАНИЕ**

	стр.
1. Б. Базаров, С. Калаулов, Б. Васидов, Ф. Сидиков: <b>Совершенствование эксплуатационных качеств автомобилей с газовыми двигателями, созданных на базе дизелей .....</b>	<b>6</b>
2. А. Мухитдинов, К. Кутлимуратов, Б. Сираджев: <b>Методика моделирования времени поездки автобуса на маршруте.....</b>	<b>15</b>
3. Д. Кульмухамедов, Р. Хикматов, А. Сайдумаров: <b>Определение влияния температуры окружающей среды на обобщенные показатели эффективности использования грузовых автомобилей .....</b>	<b>27</b>
4. А. Мухитдинов, А. Халмухамедов: <b>Повышение эффективности функционирования автодорожного комплекса Республики Узбекистан.....</b>	<b>36</b>
5. Ш. Хакимов, Э. Файзуллаев, А. Раҳмонов: <b>Оценка сложности автомобильной дороги в горной местности .....</b>	<b>48</b>
6. Г. Саматов, Р. Саматов, Ш. Шарапова: <b>Пути повышения позиции Узбекистана в рейтинге эффективности логистики.....</b>	<b>61</b>
7. А. Карабаев: <b>Холодный асфальтобетон с добавками комплексных органических вяжущих .....</b>	<b>68</b>
8. А. Каюмов, Р. Худайкулов, Т. Мирзаев: <b>Дорожные насыпи из засоленных грунтов и методы улучшения их расчетных характеристик.....</b>	<b>77</b>
9. М. Мирахмедов: <b>Теоретические основы безнапорной пропитки мелиорантов и применение ее особенностей в практике закрепления подвижных песков .....</b>	<b>85</b>
10. О Касимов, У. Юсупов, Ж. Нарзиев: <b>Нормирование пробега шин вахтовых автобусов NefAZ в условиях «АГМК» .....</b>	<b>94</b>
11. Т. Аскарходжаев, Ш. Пирнаев: <b>Взаимодействие резца дорожной фрезы (ДФ) с асфальтобетоном .....</b>	<b>102</b>
12. Т. Аскарходжаев, Ш. Пирнаев: <b>Роль дорожных фрез в технологии ремонта изношенного дорожного полотна.....</b>	<b>109</b>

## IMPROVEMENT OF OPERATIONAL QUALITIES OF CARS WITH GAS ENGINES CREATED ON THE BASIS OF DIESEL

**Bakhtiyor Imamovich BAZAROV\***, DSc, Professor.

**Saydulla Aymakhanovich KALAUOV**, Ph.D., research seeker

**Fakhriddin Shamsiddinovich SIDIKOV**, research seeker

Tashkent Institute of Design, Construction & Maintenance of Automotive Roads

Department "Ecology and internal combustion engines"

20, ave A.Timur, 100060, Tashkent, Uzbekistan

Tel. (71) 233-43-00, 7537767@gmail.com

\*E-mail: baxtbb@mail.ru

**Abstract.** The transfer of operating and produced automotive diesel engines, as the most significant consumer of non-environmentally friendly and scarce diesel fuel, to power only (single-fuel supply) with natural gas (compressed or liquefied) is an appropriate energy-ecological technical solution. However, the implementation of this solution requires the introduction of a number of design and technological solutions in the base engines, which in general can improve the performance of gas-powered cars based on diesel engines.

**Key words:** gas engine, diesel engine, vehicle performance, compressed natural gas, fuel system, alternative fuel.

## **ДИЗЕЛЬ БАЗАСИДА ЯРАТИЛГАН ГАЗ ДВИГАТЕЛЛИ АВТОМОБИЛЛАРНИ ЭКСПЛУАТАЦИОН ҲУСУСИЯТЛАРИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

**Бахтиёр Имамович БАЗАРОВ\***, т.ф.д., профессор,

**Сайдулла Аймаханович КАЛАУОВ**, т.ф.н., доцент,

**Бахром Абдухалилович ВАСИДОВ**, мустақил изланувчи

**Фахриддин Шамситдинович СИДИКОВ**, мустақил изланувчи

Тошкент автомобиль йўлларни лойиҳалаш, куриш ва эксплуатация институти

«Экология ва ички ённув двигателлари» кафедраси

100060, Ўзбекистон, Тошкент ш., А.Тимур проспекти, 20 уй

Тел. (71) 233-43-00

\*E-mail: baxtbb@mail.ru

**Аннотация.** Эксплуатация ва ишлаб чиқарилаётган автотрактор дизелларини факатгина (бир ёнилғили) табиий газга (сиқилган ёки суюлтирилган) ўтказиш, ноэкологик ва танқис дизель ёнилғисини истеъмолчиси сифатида энерго-экологик техник ечим нуқтаи назаридан мақсаддага мувофиқдир. Бироқ бу ечимни амалга ошириш учун базавий двигателда бир катор конструктор-технологик ечимларни қўллашга тұғри келади, умуман олганда дизеллар базасида қайта жихозланган газ двигателлари автомобилнинг эксплуатацион хусусиятларини такомиллаштиради.

**Калит сўзлар:** Газ двигатели, дизель, автомобилнинг эксплуатацион хусусиятлари, сиқилган табиий газ, таъминлаш тизими, муқобил ёнилғи.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ АВТОМОБИЛЕЙ С ГАЗОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ, СОЗДАННЫХ НА БАЗЕ ДИЗЕЛЕЙ**

**Бахтиёр Имамович Базаров\***, д.т.н., профессор,

**Сайдулла Аймаханович Калауов**, к.т.н., доцент,

**Бахром Абдухалилович Васидов**, соискатель

**Фахриддин Шамситдинович Сидиков**, соискатель

Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог

Кафедра «Экология и двигатели внутреннего сгорания»

100060, г.Ташкент, проспект А.Темура, дом-20

Тел.: +998(71)233-43-00

\*E-mail: baxtbb@mail.ru

**Аннотация:** Перевод эксплуатируемых и производимых автотракторных дизелей, как наиболее существенного потребителя не экологичного и дефицитного дизельного топлива, на питание только (однотопливное питание) природным газом (сжатым или сжиженным) является целесообразным энерго-экологическим техническим решением. Однако реализация данного решения требует ввести ряд конструкторско-технологических решений в базовые двигатели, которые в целом позволяют совершенствовать эксплуатационные качества автомобилей с газовыми двигателями, созданных на базе дизелей.

**Ключевые слова:** газовый двигатель, дизель, эксплуатационные качества автомобилей, сжатый природный газ, система питания, альтернативное топливо.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Использование сжатого природного газа (СПГ) в качестве моторного топлива для бензиновых двигателей обычно реализуется по двухтопливной (газ-бензин) универсальной системе питания. В данном случае эксплуатационные свойства природного газа используются частично. Использование СПГ в качестве моторного топлива для автотракторных дизелей может быть реализовано двумя способами: частичное (газодизельное или битопливное) или полное (однотопливное или монотопливное) питание.

В настоящее время в год используется примерно 77-80 млрд. куб. м. (63,5 млн. тн.э.) природного газа в качестве моторного топлива, а в Узбекистане – 2,5-2,8 млрд. куб. м.

Перевод автотранспортных дизелей на питание СПГ по однотопливной (монотопливной) системе питания имеет ряд технологических, энергетических, экологических, производственных преимуществ. Поэтому, совершенствование эксплуатационных качеств газовых двигателей автотракторных средств при переводе их работы на однотопливное питание, актуальны.

## 2. ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧИ

При переводе дизелей на СПГ по однотопливной системе питания двигатель с воспламенением горючей смеси от сжатия превращается в газовый двигатель с искровым зажиганием.

В этом случае требуется решение комплекса взаимосвязанных и взаимообусловленных вопросов:

1. Осуществление конструктивно-технологических изменений в базовом двигателе.
2. Выбор газовой системы питания и зажигания.
3. Выбор систем заправки, транспортировки и хранения СПГ.
4. Обеспечение соответствующей инфраструктуры по эксплуатации газобаллонных автомобилей.

Поскольку в рамках одной статьи практически невозможно охватить все указанные вопросы, то нами будут затронуты только основные вопросы.

Первый комплекс вопросов охватывает следующие аспекты:

- учет эксплуатационных свойств СПГ;
- изучение конструкции и условий эксплуатации базового дизеля, который необходимо переводить на питание СПГ по однотопливной схеме;
- модернизация конструкции базового дизеля (цилиндропоршневой группы, системы охлаждения, системы смазки, системы газообмена и др.).

Первая группа вопросов связана с эксплуатационными свойствами используемого газа и расчетами возможных его расходов при различных режимах работы газового двигателя. Эти данные необходимы для обоснования возможных конструктивных изменений в базовом дизеле и для выбора параметров устанавливаемого газобаллонного оборудования.

Вторая группа практически должна рассматриваться в контексте с третьей группой вопросов.

Третья группа вопросов связана с модернизацией цилиндрапоршневой группы, впускной системы, систем охлаждения, смазки и зажигания. Причем в зависимости от применения наддува принимаемые решения по модернизации могут быть несколько изменены.

В целях реализации рациональной модернизации цилиндрапоршневой группы, впускной системы, систем охлаждения, смазки и зажигания с учетом наддува, связанной с совершенствованием эксплуатационных показателей газового двигателя, созданного на базе дизеля поставлены задачи по системному подходу к данным вопросам.

## 3. АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Проблемы с топливообеспеченностью и экологичностью двигателей внутреннего сгорания, как основной энергетической установки стационарных и транспортных средств, на протяжении последних лет решаются использованием природного газа [1, 2, 3].

Анализ использования различных видов альтернативных топлив за период 1995-2018 гг. в США (табл.1) показывает, что применение природного газа в сжатом и сжиженном видах в качестве моторного топлива интенсивно растет по сравнению с другими видами альтернативных топлив [4].

Таблица 1

Количество заправочных станций и автомобилей США, работающих на альтернативных видах топлива

Годы	Количество автомобилей/ заправочных станций, тысяч шт./шт.							
	Виды альтернативных моторных топлив							
	СНГ	СПГ	СжПГ	Биодизель	Этанол (Э85)	Метанол (М85)	Водород	Электро мобиль
1995	173/3299	50/1065	0.6/-	-/-	1,7/37	19/82	-/-	3/188

Продолжение таблицы 1

2000	182/3268	101/1217	2/44	27*/2	87,5/113	13/3	-/-	12/558
2005	174/2995	118/787	2,8/40	90*/304	246/436	0/0	74/14	52/588
2010	143/2647	116/841	3,3/39	260*/644	619/2142	0/0	64/58	58/541
2015	2248/3594	8744/1563	7,0/111	1263*/721	1881/2990	0/0	2/39	118/30945
2018	2837/3341	5939/1659	10/137	/681	1150/3617	0/0	29/60	258/61067

Примечание: \* Производство в галлонах (3,785 л).

Такая же тенденция наблюдается в Узбекистане (рис.1), где ежегодно используется более 2,5 млрд. куб. м природного газа в сжатом виде в качестве моторного топлива, а также растет численность эксплуатируемых автомобильных газонаполнительно-компрессорных станций (АГНКС) стационарного типа.

Вопросам замены бензина на природный газ посвящено множество научных, конструкторско-технологических разработок и многие проблемы в этом направлении решены успешно.

Замена же дизельного топлива природным газом реализуется двумя способами: переводом на газодизельную и полностью на газовую систему питания.

Изучению газодизельной системы питания также посвящено множество научных опытно-конструкторских разработок. Многие компании и автозаводы (Cummins, Volvo, Caterpillar, КамАЗ и др.) освоили производство транспортных средств с газодизельной системой питания [6, 9].

Однако многими исследователями отмечен ряд недостатков газодизелей, связанные с современными экологическими требованиями [10].

Современные энерго-экологические требования к транспортным и стационарным средствам заставили ученых и специалистов заниматься вопросами перевода дизелей на однотопливную газовую систему питания [11-14].

#### 4. ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ ПОДХОДЫ

Разработка и эксплуатация газовых двигателей на базе дизелей охватывает комплекс взаимосвязанных и взаимообусловленных вопросов, что, как уже было отмечено, требует системного подхода.

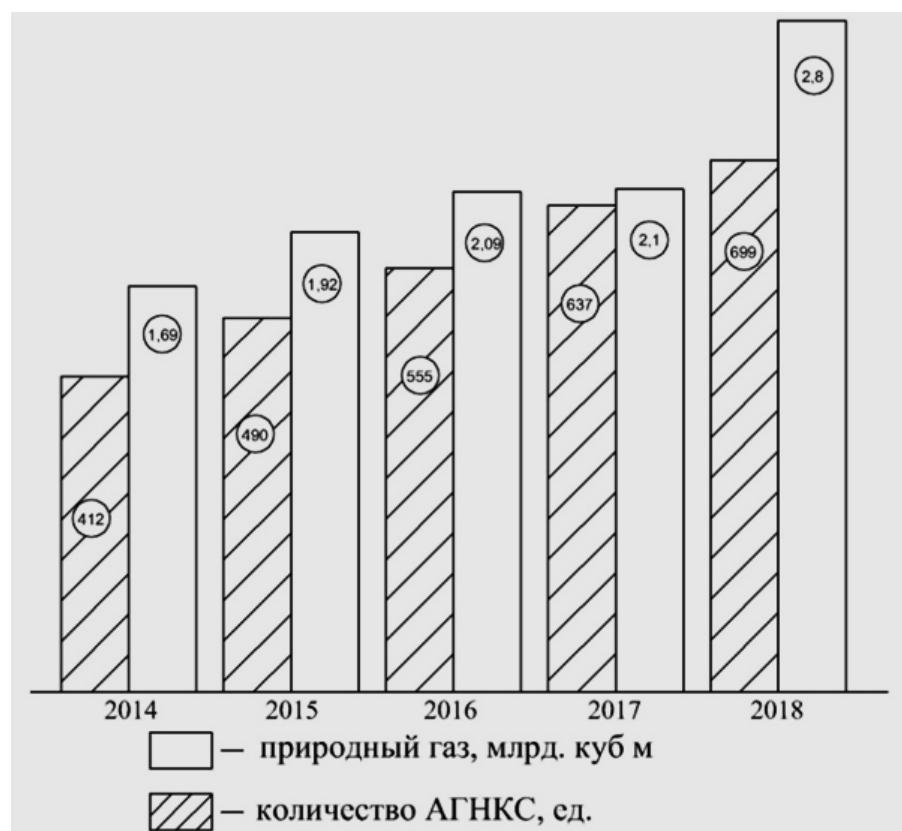


Рис.1. Диаграмма использования природного газа в качестве моторного топлива в Узбекистане

Поскольку газовый двигатель, созданный на базе дизеля, будет иметь несколько другие свойства, можно выделить следующие условные группы вопросов:

- управление процессов, происходящих во впускной системе;
- модернизация цилиндропоршневой группы;
- управление системы охлаждения;
- управление системы зажигания.

#### 4.1 Управление процессами впускной системы

Двигатель становится с искровым зажиганием. Данное изменение класса двигателя обусловлено свойствами используемого топлива – природным газом. Если в дизеле впускная система выполняла функции подачи и распределения воздуха по цилиндрам (рис. 2), то в газовом двигателе она подает и распределяет по цилиндрам газовоздушную смесь (рис. 3). Причем объем подаваемой газовоздушной смеси регулируется дроссельной заслонкой, которая создает гидродинамическое сопротивление.

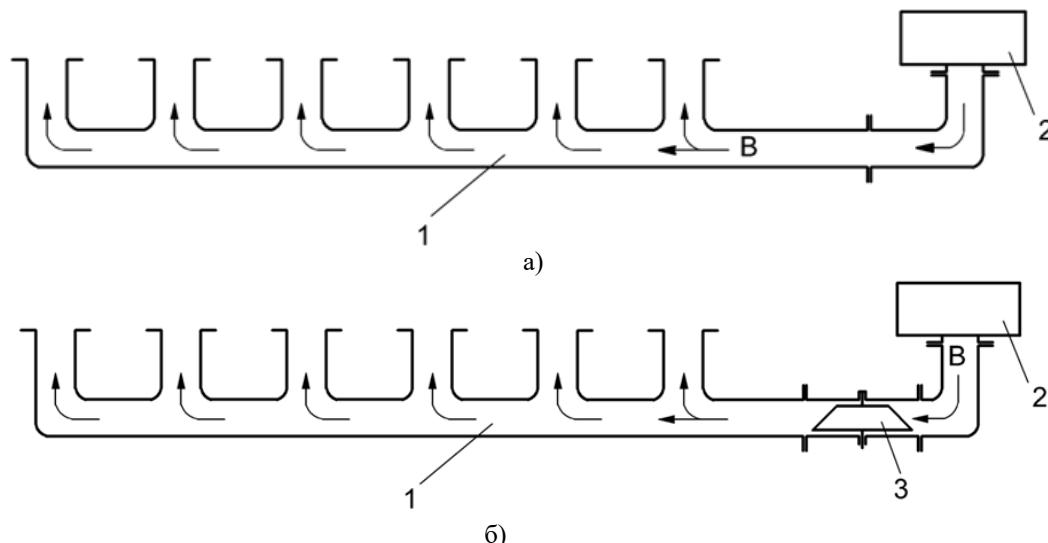


Рис. 2. Схема впускного трубопровода дизелей без наддува (а) и с наддувом (б)  
1 – впускной трубопровод; 2 – воздушной фильтр; 3 – компрессор; В – воздух

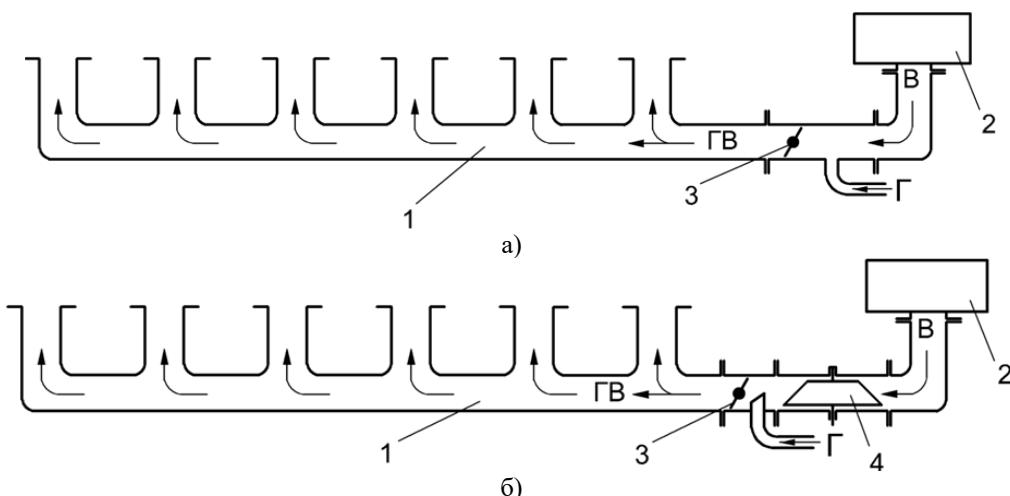


Рис. 3. Схема впускного трубопровода газового двигателя без наддува (а) и с наддувом (б): 1- впускной трубопровод; 2 - воздушной фильтр; 3 – дроссельной заслонка; 4 - компрессор; В - воздух; Г - газ; ГВ – газовоздушная-смесь

В этом случае впускная система должна иметь наименьшее гидравлическое сопротивление и равномерно распределять газовоздушную смесь по цилиндрам.

#### 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе эксплуатации газового двигателя с наддувом установлено, что при резком закрытии дроссельной заслонки происходит затормаживание потока газовоздушной смеси, что отрицательно сказывается на работе компрессора. Данное явление устранено разработкой и использованием перепускного устройства (рис. 4).

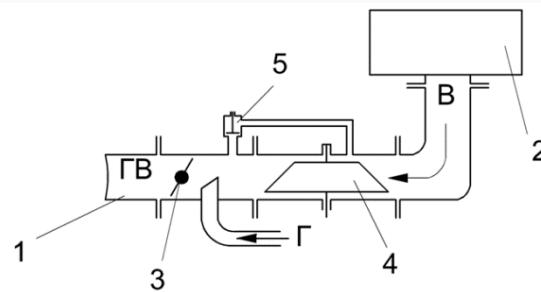


Рис. 4. Принципиальная схема впускной системы газового двигателя с перепускным клапанным устройством  
1 – впускной трубопровод; 2 – воздушный фильтр; 3 – дроссельная заслонка; 4 – компрессор; 5 – перепускное устройство; В – воздух; Г – газ; ГВ – газовоздушная-смесь

## 5.1 Модернизация конструкции цилиндкопоршневой группы

Дизели, которые должны оснащаться газовой однотопливной системой питания имеют степень сжатия 16...19. Для обеспечения бездетонационной работы газовых двигателей следует уменьшить значение степени сжатия и/или управлять объемом рабочего тела, поступающего за период впуска.

Имеются следующие варианты решения данного вопроса:

- увеличение объема камеры сгорания в поршне;
- установка дополнительной металлической проставки между блоком цилиндров и головкой цилиндров, установка охлаждаемой форкамеры в головку цилиндров;
- изменение остова двигателя (увеличение расстояние от оси вращения коленчатого вала до днища поршня);
- изменение высоты поршня;
- изменение длины шатуна;
- изменение радиуса кривошипа;
- изменение фазы газораспределения или же управление длительностью тактов впуска и выпуска.

Исходя из сложности реализации указанных решений по уменьшению степени сжатия двигателя, наиболее доступным способом является увеличение объема камеры сгорания в поршне. Рациональное значение степени сжатия газового двигателя должно быть выбрано исходя из неравенства:

$$T_c < T_{rc} \quad (1)$$

где  $T_c$  – температура рабочей смеси в конце сжатия;

$T_{rc}$  – температура самовоспламенения газовоздушной смеси.

Полагая, что теоретическая температура самовоспламенения топливовоздушной (газовоздушной) смеси может находиться от нижнего предела – температуры воспламенения бензиновоздушной смеси ( $T_{bc}$ ) до верхнего предела – температуры самовоспламенения метана ( $T_{rc}$ ) согласно теории самовоспламенения академика Н.Н. Семенова можно определить пределы изменения степени сжатия природного газа (рис. 5).

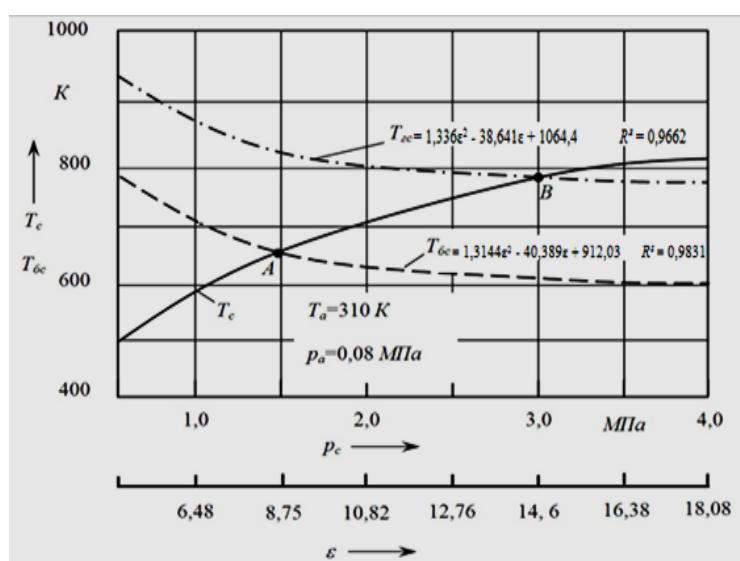


Рис. 5. Изменение температуры самовоспламенения газовоздушной смеси при различных степенях сжатия

Анализ полученных кривых показывает, что теоретические значения степени сжатия газового двигателя могут находиться между точками А и В, что составляет от 8,8 до 14,6.

Действительное же значение степени сжатия корректируется в процессе стендовых, эксплуатационных испытаний, исходя из условий обеспечения требуемых показателей базового двигателя.

Проведенные теоретические и эмпирические исследования позволили выявить условные группы

значений степени сжатия для многих автотракторных дизелей:  $11\pm0,5$  (экологическая),  $12\pm0,5$  (базовая),  $13\pm0,5$  (мощностная) [15].

В табл. 2 приведены числовые значения объемов в цилиндре газового двигателя при  $\epsilon=11,0$ .

Таблица 2

## Числовые значения объемов цилиндра двигателя

№	Наименование	Ед. измерения	A01M	Д-243	MAN D20	ISUZU 4HF1	КамАЗ-740
1	Диаметр и ход поршня	mm*mm	130*140	110*125	120*155	112*110	120*120
2	Рабочий объем цилиндра	ml	1858±2	1188±	1752±2	1084±2	1357±
3	Объем камеры сгорания в поршне *	ml	100/168	68/83	75/160	60/92	80/144
4	Объем камеры сгорания в головке цилиндров	ml	12±1	8±1	10±1	14±1	12±1
5	Объем камеры сгорания в прокладке головки цилиндров	ml	2±0,5	2±0,5	5±0,5	2±0,5	3±0,5

## 5.2 Газораспределительный механизм

Наиболее важным параметром газораспределительного механизма, влияющим на показатели (крутящий момент, удельный расход топлива, теплонапряженность деталей) газового двигателя является значение перекрытия клапанов.

Среднестатистические значения перекрытия клапанов составляют для двигателей с искровым зажиганием 15...35 град ПКВ, дизелей – 5...70 град ПКВ.

В табл. 3 приводятся параметры фаз газораспределения различных дизелей, которые переведены на питание сжатым природным газом.

Таблица 3

## Фазы газораспределения различных дизелей

№	Марка дизелей	Коли-чество цилин-дров	Порядок работы цилин-дров	Впуск, град. ПКВ			Выпуск, град. ПКВ			Перекрытие клапанов, град. ПКВ
				начало до ВМТ	конец после НМТ	продолжительность	начало до НМТ	конец после ВМТ	Продолжительность	
1	3DH	3P	132	14	54	248	54	14	248	28
2	ISUZU 4HFI	4P	1342	18	50	248	51	17	249	35
3	D-243	4P	1342	16	40	236	40	16	236	32
4	MAN D206	6P	153624	24	12	216	60	30	270	54
5	AO1M	6P	153624	20	50	250	50	20	250	40
6	КамАЗ-740	8V	15426378	10	46	236	66	10	255	20
7	ЯМЗ-238	8V	15426378	20±2	56±2	256	56±2	20±2	256	40±2

## 5.3 Скоростная характеристика двигателя

Анализ полученных внешних скоростных характеристик двигателей Д-243, FRT, ISUZU 4HFI, работающих на дизельном топливе и сжатом природным газом показал, что максимальное значение крутящего момента газового двигателя, созданного на базе дизелей образуется при меньших значениях частоты вращения

коленчатого вала, т.е.  $M_{kmax}$  сдвигается в левую сторону скоростной характеристики на 200-300 мин<sup>-1</sup> и диапазон максимальных значений крутящего момента газового двигателя расширяется на 400...500 мин<sup>-1</sup> по сравнению с дизельным топливом, а также значения частоты вращения на номинальном режиме увеличиваются  $\Delta n=400...500$  мин<sup>-1</sup>. Данное решение позволяет расширить диапазон изменений частоты вращения коленчатого вала и улучшить динамические свойства газового двигателя [15].

#### 5.4 Система зажигания

Современные производители систем зажигания для газовых двигателей стремятся производить:

- цифровые системы зажигания с генерацией опорного управляющего сигнала от маховика или распределительного вала и максимально интегрированную с системой управления двигателем;
- свечи зажигания с резистором (5 кОм) для подавления помех и уменьшения износа электродов различного исполнения по резьбовой части (M12x1,0, M10x1,0) вместо M14x1,25;
- индивидуальные катушки зажигания для каждого или пары цилиндров.

#### 5.5 Система охлаждения

Перевод и эксплуатация транспортных средств MAN, HOWO, SHACMAN, ISUZU, КамАЗ, МАЗ с газовыми двигателями на базе дизелей позволили использовать следующие решения, связанные с совершенствованием системы охлаждения [9].

- очистка системы охлаждения базового дизеля перед переоборудованием;
- увеличение производительности водяного насоса;
- увеличение объема водяного радиатора и маслоохладителя;
- изменение режимов работы терmostата (табл. 4).

Таблица 4

Технические параметры терmostатов

Транспортные средства	Temperatura начала открывания терmostата, °C		
	Дизель	Газовый двигатель	
		Зимой	Летом
MAN, HOWO, SHACMAN, ISUZU, КамАЗ	82	82	72 – 68

#### 5.6 Компоновочные решения газобаллонного оборудования

В процессе перевода и эксплуатации газобаллонной техники особое значение имеет выбор компоновки газовых баллонов, устанавливаемых при переоборудовании дизелей на питание СПГ. В Узбекистане используются в основном газовые баллоны типа СПГ-1 с различными объемами (50, 65, 75, 80, 100 л), имеющие различные диаметры и длину.

Указанная номенклатура газовых баллонов СПГ-1 позволяет варьировать выбором компоновочных решений для совершенствования эксплуатационных показателей транспортных средств с газовыми двигателями.

Выбор типа, размера и количества необходимых газовых баллонов для переоборудованного транспортного средства с известным объемом выполняемой транспортной работы с одной заправкой связан с объемом требуемого газа

$$V_g = V_{tp} + V_{tp} \cdot \frac{P_2}{P_p} M^3 \quad (2)$$

где  $V_g$ ,  $V_{tp}$  – общий объем и объем газа для транспортной работы с одной заправкой, м<sup>3</sup>;  $P_p$ ,  $P_2$  – максимальное рабочее давление и минимальное допустимое давления газа в баллоне для следующей заправки, МПа.

С другой стороны

$$V_{tp} + V_{tp} \cdot \frac{P_2}{P_p} \geq \frac{\Sigma V_6 \cdot P_2}{1000 \cdot P_p} \quad (3)$$

где  $\frac{\Sigma V_6 \cdot P_2}{1000 \cdot P_p}$  – выражение для определения остаточного объема газа, связанного с заправкой.

Таблица 5

**Варианты компоновочных решений грузовых газобаллонных автомобилей**

№	Средне-суточный пробег на одной заправке*, км	Требуемый объем газа**, м <sup>3</sup>	Комплектация газовых баллонов, л/ед.	Стоимость переоборудования, %		Суммарная масса газовых баллонов с кассетами, кг	
				Тип системы питания			
				Класс.	Электр.		
1	250-300	110-130	50/10	100	145	600±10	
2	350-400	130-150	75/8	100	138	610±10	
3	450-500	195-205	75/12	100	128	920±10	
4	550-600	260-280	75/16	100	122	1220±10	

Примечание: \* – верхнее значение пробега относится к автомобилям с электронной системой управления. \*\* – верхнее значение требуемого объема газа относится к автомобилям с прицепом.

Разработанные и внедренные компоновочные решения (табл. 5) позволяют управлять суммарной массой устанавливаемых газовых баллонов, а также достичь различных значений среднего пробега (табл. 6) с учетом устанавливаемого поколения газобаллонного оборудования.

Таблица 6

**Средний пробег с одной заправкой газом автомобилями с разными производителями ГБО**

№	Автомобили	Суммарный объем устанавливаемых баллонов и заправляемого газа, л/м <sup>3</sup>	Средний пробег на одной заправкой для ГБО-3/ГБО-4, км
1	Самосвалы HOWO, FOTON, SHACMAN, V <sub>п</sub> =9,7л; N <sub>е</sub> =255 кВт	750/150	350/400
2	MAN GLA; V <sub>п</sub> =6,9 л; N <sub>е</sub> =206 кВт	750/150	450/500
3	Автобус ISUZU NP37, V <sub>п</sub> =4,3л; N <sub>е</sub> =78 кВт	300/66	280/320

Компоновочные решения с учетом поколения устанавливаемого газобаллонного оборудования влияют не только на пробег с одной заправкой, но и на стоимость переоборудования и возможность перегрева двигателя (табл. 6).

Таблица 7

**Эксплуатационная оценка поколения газобаллонного оборудования**

Оценочные показатели	ГБО-2	ГБО-3	ГБО-4
Пробег с одной заправкой, % (км)	100 (250–280)	115 (290–320)	150 (390–440)
Стоимость переоборудования, %	100	106	120
Возможность перегрева двигателя	+	+	–

**6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Наиболее рациональным способом уменьшения значения степени сжатия является увеличение объема камеры сгорания в поршне. Причем условно установлены три группы значений степени сжатия – 11 ± 0,5 (экологическая), 12 ± 0,5 (базовая), 13 ± 0,5 (мощностная).

2. Рациональное комплектование газовых баллонов типа СПГ-1 с учетом суточной транспортной работы и поколения устанавливаемого газобаллонного оборудования позволяет учитывать реальную грузоподъемность транспортного средства с газовым двигателем, что отражается на эксплуатационном расходе топлива и сроке службы техники.

3. Отличительная теплонапряженность газового двигателя доказывает целесообразность принятия ряда технических решений (увеличение объема радиатора и маслоохладителя, а также производительности водяного насоса, использование летних и зимних терmostатов).

**7. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

- Самоль Г.И., Гольдблат И.И. *Газобаллонные автомобили*. Москва: Машгиз, 1963. – 386 с. [In Russian: Samol G.I., Goldblat I.I. *Gas-Cylinder cars*. Moscow: Mashgiz, 1963.]
- Григорьев Е.Г., Колубаев Б.Д., Ерохов В.И. и др. *Газобаллонные автомобили*. Москва: Машиностроение,

1989. – 216 с. [In Russian: Grigoriev, E. G., Kolubaev, B. D., Yerokhov, V. I. and al. (1989) *Gas-Cylinder cars*. Moscow: Mechanical engineering].
3. Базаров Б.И., Калауов С.А., Васидов А.Х. *Альтернативные моторные топлива*. Монография. Ташкент: SHAMS ASA, 2014. – 186 с. [In Russian: Bazarov B. I., Kalafov S. A., Vasidov A. X. (2014) *Alternative motor fuel*/ Monograph. Tashkent: SHAMS ASA].
  4. Davis, S.C. (2017) *Transportation energy*. Data book: Edition 36. Oak Ridge: Center for Transportation Analysis. – 458 p.
  5. Базаров Б.И., Сидиков Ф.Ш., Одилов О.З. и др. (2019) Современные тенденции в использовании альтернативных моторных топлив. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 14. Vol. 2. p.186-188. [In Russian: Bazarov B. I., Sidikov F. Sh., Odilov O. Z. and al. (2019) Modern trends in the use of alternative motor fuels/ *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 14. Vol. 2.].
  6. Karim G.A. & Khan M.O. (1968). Examination of effective rates of combustion heat release in a dual-fuel engine. *J Mech Eng Sce*, №10. – p 13-23.
  7. Folkson R. *Alternative Fuels and Advanced Vehicle. Technologies for improved Environmental Performance*. London. ELSEVIER. 2014. 760 p.
  8. Papagiannakis R.G. & Rakopoulos C.D. & Hountalas D.T. & et al. (2010) Emission characteristics of high speed, dual fuel, compression ignition engine operating in a wide range of natural gas/diesel fuel proportions. *Fuel*. №89. p.1397–1406.
  9. Базаров Б.И., Калауов С.А., Васидов А.Х. (2014). Перевод дизелей на питание сжатым природным газом. *Тракторы и сельхозмашины*. №5. с.10-15. [In Russian: Bazarov, B. I., Kalafov, S. A., Vasidov, A. X. (2014) Conversion of diesels to compressed natural gas/ *Tractors and agricultural machines*].
  10. Лютко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С. *Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания*. Москва: МАДИ. 2000. – 311 с.[In Russian: Lyutko, V., Lukanin, V. N., Khachiyan, A. S. (2000) *Application of alternative fuels in internal combustion engines..* Moscow: MARI].
  11. Васильев Ю.Н., Гриценко А.И., Золотаревский Л.С. *Транспорт на газе*. Москва: Недра. 1992. – 342 с. [In Russian: Vasiliev, Yu. N., Gritsenko, A. I., Zolotarevsky, L. S. (1992) *Transport on gas*. Moscow: Nedra].
  12. Stephanie M.V., Velazquez. *The road from diesel to natural gas*. Master thesis. Bergen. 2014. – 76 p.
  13. Колчина И.Н. (2014) Анализ зарубежного опыта использования природного газа в качестве моторного топлива. *Вестник Уральского федерального университета*. с.79-84. [In Russian: Kolchina, I. N. (2014) Analysis of foreign experience in using natural gas as a motor fuel. *Bulletin of the Ural Federal University*].
  14. Rahul Chandra & Syed Quadvi (2013) Emission study of CNG Substituted Diesel Engine under Dual Fuel Mode. *Sch. S. Eug. Tech.* №1, p.1 – 3.
  15. Патент №05461 Uz. *Газовый двигатель внутреннего сгорания*. (Базаров Б.И. и др.). Бюл. №9, 29.09.2017. [In Russian: Patent №05461 Uz. (2017) *Gas internal combustion engine*. (Bazarov, B. I. et al.). Bull. №9].

## THE TIME SIMULATING METHOD OF THE BUS TRIP ON THE ROUTE

**Akmal MUKHITDINOV\***, doctor of technical sciences, professor

**Kudrat KUTLIMURATOV\***, doctoral student

Tashkent institute of design, construction and maintenance of automobile roads

Str. A.Temur, 20, 100060, Tashkent, Uzbekistan

Tel.: +998(90)977-38-23; +998974077066

E-mail: akmalmukhitudinov@gmail.com

\*E-mail: qudratq@gmail.com

**Bobur SIRADJEV**, assistant

Center for research of issues in development of transport and logistics under the Ministry of transport of the Republic of Uzbekistan

Str. Zulfuyahonim, 3, 100128, Tashkent, Uzbekistan

Tel.: +998994845825

E-mail: bobur.siradjev@gmail.com

**Abstract:** Public transportation system is essential for any country development and economic growth. This study introduces analysis of travel time and its variability on the urban public transport system. Also, the proposed methodology provides factors influencing to the bus travel time in Tashkent context. GPS data set is used and collected travel time and delays on route#51 for this study. Based on the collected data, Linear multivariate regression models is developed, then studying the individual trip-based modeling of bus travel time is proposed.

**Key words:** Bus route, Methodology, Modeling, Bus travel time, Arrival delay, On-time performance, Big data, Logit regression model, Multivariate regression model.

## АВТОБУС ЙЎНАЛИШДАГИ ҚАТНОВ ВАҚТИНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ УСЛУБИ

**Акмал МУХИТДИНОВ**, т.ф.д., профессор

**Кудрат КУТЛИМУРАТОВ\***, докторант

Тошкент автомобиль йўлларини лойихалаш, қуриш ва эксплуатацияси институти

100060, Ўзбекистон, Тошкент, А.Тимур кўч., 20

Тел. +998909773823; +998974077066

E-mail: akmalmukhitudinov@gmail.com

\*E-mail: qudratq@gmail.com

**Бобур СИРАДЖЕВ**, асистент

Ўзбекистон Республикаси Транспорт вазирлиги хузуридаги транспорт ва логистикани ривожлантириш музаммоларини ўрганиш маркази

100128, Ўзбекистон, Тошкент, Зульфияхонум кўч., 3

Тел. +998994845825

E-mail: bobur.siradjev@gmail.com

**Аннотация:** Ҳар кандай давлатнинг ривожланиши ва иқтисодий ўсиши учун жамоат транспорти муҳим аҳамиятга эга. Ушбу ишда Тошкент шаҳар жамоат транспорти 51-йўналишни автобуси мисолида қатнов вақти ва унинг ўзгарувчанлиги таҳлил этилган. Шунингдек, таклиф этилаётган услуг автобусда ҳаракатланиш вақтига таъсир этувчи омиллар келтирилган. Бундан ташқари унга таъсир қилувчи омилларни ўрганишда GPS маълумотларидан фойдаланиб чизиқли регрессия моделларини ишлаб чиқиши учун статистик маълумотларни тўплаш ва уларни хисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган. Индивидуал қатновга асосланган автобус ҳаракат вақтини моделлаштириш методикаси таклиф этилади.

**Калит сўзлар:** Автобус маршрути, методология, моделлаштириш, автобус қатнов вақти, кечикиш вақти, автобуснинг ўз вақт бўлиши, катта маълумотлар, логит регрессия модели, кўп ўзгарувчили регрессия модели.

## МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВРЕМЕНИ ПОЕЗДКИ АВТОБУСА НА МАРШРУТЕ

**Акмал МУХИТДИНОВ**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Транспортные средства»

Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог

100060, Узбекистан, Ташкент, пр. Амира Темура, 20.

Tel.: +998(90)977-38-23

E-mail: akmalmukhitudinov@gmail.com

**Кудрат КУТЛИМУРАТОВ**, докторант

Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог

100060, Узбекистан, Ташкент, пр. Амира Темура, 20.

Тел. +998 (97)407-70-66

E-mail: qudratq@gmail.com

**Бобур СИРАДЖЕВ**, ассистент

Центр исследований проблем развития транспорта и логистики при Министерстве транспорта Республики Узбекистан  
100128, Узбекистан, Ташкент, ул. Зульфияханум, 3  
Тел. +998 (99)484-58-25  
E-mail: bobur.siradjev@gmail.com

**Аннотация.** Система общественного транспорта необходима для развития и экономического роста любой страны. Это исследование знакомит с анализом времени в пути и его изменчивости в городской системе общественного транспорта в Ташкенте. Также указывается на необходимость изучения факторов, влияющих на время в пути. В этом исследовании использовалась система мониторинга на основе GPS для сбора данных о времени в пути по маршруту № 51. Разработан компьютерный алгоритм для линейной многомерной регрессии на основе данных GPS, а затем предложена методика моделирования времени движения автобуса на маршруте.

**Ключевые слова:** Маршрут автобуса, методология, моделирование времени в пути, задержка прибытия, своевременности, большие данные, логистическая регрессия, модель множественной регрессии.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

С ростом увеличения дохода населения и интенсивности степени автомобилизации усложняются эффективное управление общественным транспортом и обеспечение надежности движения. Известно, что во многих городах транспортный затор является основной проблемой на транспорте и приводит к снижению качества транспортных услуг.

Рост автомобильного парка в городе Ташкенте снижает скорость движения в период час пика, следовательно это приводит к неэффективному использованию энергетических ресурсов, ухудшению экологии и увеличению экономических потерь. Кроме этого, помимо личных автомобилей наблюдается увеличение времени поездки на маршруте и городских автобусов. Поэтому оценка условий движения автобуса на маршруте является актуальной задачей. В 2018 году среднее время поездки маршрутных автобусов составило 45 минут и среднее расстояние поездки при этом составило 16.1 км в городе Ташкенте. По данным Центра экономических исследований Республики Узбекистан из-за неэффективности организации дорожного движения в городе Ташкенте экономические потери составили 138.2 млн. Долларов США [1]. 30 % этих потерь приходится на общественный транспорт.

Повышение транспортной эффективности автобусов является актуальной проблемой. Разработка мероприятий по решению этой проблемы путём исследования влияющих факторов и количественной их оценки считается приоритетным. Надежность времени поездки – одна из показателей качества транспортной услуги населению общественным транспортом и отражает эффективность транспортной системы. Надежность времени поездки – перемемнность времени поездки на одном и том же маршруте в одинаковое время. Таким образом, эффективное организация перевозки пассажиров, правильное планирование маршрутов и анализ надежности времени поездки являются основными задачами исследования.

Цель данного исследования – разработка методики сбора, обработки и оценки информации по времени поездки маршрутных автобусов с применением технологии GPS. Преимущество такого метода заключается в том, что имеется возможность оценки времени поездки в разрезе остановок или маршрутов, а также относительно недорого в сравнении с существующими методами.

Данная методика позволяет организовать качественную транспортную услугу населению, оперативно оценивать и анализировать, ежедневно корректировать расписание маршрутов или разработать новые маршруты, изменить рабочее время и снизить непроизводственные затраты.

## 2. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Большая часть исследований в области транспорта за последние несколько десятилетий была посвящена оценке уровню транспортный пробок [2-5], экологии [7] и повышении эффективности работы [7–10] на транспорте. Эти вопросы напрямую зависят от времени, затрачиваемого на поездку (времени работы транспорта). В последнее время наблюдается тенденция к разработке общих показателей, понятных для всех пользователей, таких как время поездки, надёжность сервиса и т.д.

В работе авторов [10], основное внимание уделяется факторам влияющим на время в пути. Время в пути и его изменчивость – один из самых важных и сложных для определения факторов в транспортных системах. Как было указано в работах выше, время в пути зависит от динамической изменчивости транспортных потоков и количества пассажиров [11, 13–15]. В результате, такие отношения отображают взаимодействия между спросом и предложением на транспорт, показанные на рис 1. В литературе признается, что влияние дорожного потока является ещё одной важной переменной, которая влияет на время в пути и его изменчивость. Теоретически, увеличение транспортного потока может создать дополнительную задержку для транзитных транспортных средств из-за заторов на маршруте или вблизи регулируемых перекрёстков. Тем не менее, в большинстве исследований изучалось влияние транспортного дорожного потока на время в пути с использованием таких переменных, как «время суток» или «направление движения».

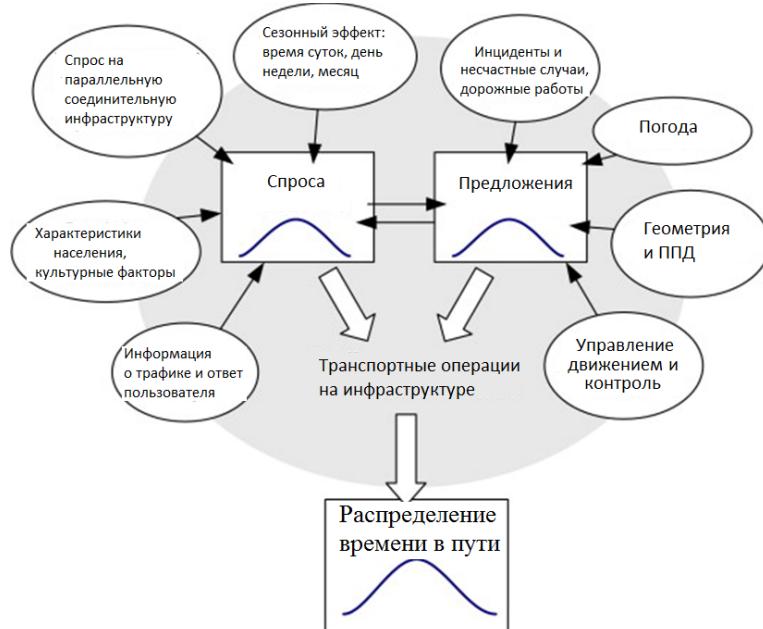


Рис 1. Основные факторы, влияющие на распределение времени в пути (van Lint et al., 2008)

Следует уточнить, что представленные факторы сильно взаимосвязаны. Неустойчивость спроса и предложения дорожного потока, которые сильно зависят друг от друга, и приводят к изменчивости времени в пути. Соответственно, эта изменчивость может потенциально влиять на прогнозируемое время в пути и качество оказываемых услуг для пассажиров. На изменчивость времени в пути влияют как внутренние, так и внешние факторы при работе общественного транспорта. К внутренним факторам относятся тип и вместимость транспортного средства, система оплаты билетов и количество автобусных остановок на маршруте [16]. Внешние факторы тесно связаны с динамической изменчивостью транспортных потоков и количества пассажиров. На условия дорожного движения влияют уровень загруженности в часы пик или дорожно-транспортные происшествия [17, 18]. Исследования показывают, что изменчивость времени в пути увеличивается во время пика после полудня, за счёт увеличения спроса пассажиров и продолжительности движения на маршруте [15].

С точки зрения пассажира, неточность в информации в реальном времени увеличивает неопределенность в принятии решений относительно времени и выбора маршрута, и отбивает желание пользоваться общественным транспортом. Следовательно, изменчивость времени в пути важна для повышения предсказуемости транспортных услуг и точности времени в пути.

Существует много факторов, влияющих на время в пути и его изменчивость. Это условия движения, поведение водителя и пассажиров, количество регулируемых и нерегулируемых перекрёстков и пешеходных переходов, задержки на автобусных остановках, дорожно-транспортные происшествия, погодные условия и другие [19-23]. Во многих работах принят ряд подходов к сокращению времени в пути, например за счёт увеличения количества пересадок [24, 25]. В некоторых исследованиях рассматривается возможность обеспечения приоритета автобуса за счёт контролируемого регулирования сигналов светофора [26].

Протяжённость поездки - один из самых главных факторов, сопряжённых со временем поездки на автобусе. Но в исследованиях оценочные коэффициенты значительно различаются друг от друга [27-29]. Другие исследователи использовали различные показатели эффективности для анализа времени в пути автобусов. Эти показатели эффективности включают задержку автобусов и отклонение задержки, стандартное отклонение времени в пути [30] и коэффициент вариации времени в пути [28]. Факторы воздействия, которые были значительными в этих моделях, аналогичны тем, которые встречаются в моделях по времени в пути.

Было проведено несколько исследований на разных городских артериях с разной синхронизацией регулируемых перекрёстков и геометрическими характеристиками. Например, исследования различных авторов показали, что каждый перекрёсток может добавлять к времени пути в среднем от 8 до 26 секунд. Результаты исследований показали, что дополнительное время в пути для автобуса, движущегося в прямом направлении, поворачивающего налево и поворачивающего вправо на перекрёстке, также приводят к задержкам, которые варьируются в диапазоне 5 - 38 секунд соответственно. Это связано с тем, что в зависимости от направления движения, различается продолжительность светофорных сигналов на перекрёстках [31,32].

### 3. МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Общий подход для анализа общего времени в пути приведён на рис. 2. Общее время в пути может быть определено как период времени маршрута от пункта отправления до пункта назначения. Время в пути и задержки также являются одними из наиболее простых показателей понятных для транспортных инженеров, планировщиков и конечных пользователей.

Общее время прохождения и его изменчивость делятся на время прохождения свободного потока и отклонение задержки. В свою очередь задержки могут быть разделены на явные и неявные.

*Время прохождения пути по пустой дороге* — это эталонное время прохождения маршрута автобусом, учитывающее запланированное время на путь и соблюдение графика, без учёта внешних и внутренних факторов.

*Явные (ожидаемые) задержки* — систематические задержки, связанные с часами пик, запланированными мероприятиями и прочими прогнозируемыми факторами.

*Неявные (непредвиденные) задержки* — это задержки, вызванные динамическими факторами, которые вызваны неожиданными заторами в результате ДТП или ремонта дорог, неисправности подвижного состава и другими факторами, которые невозможно спрогнозировать.

*Общее время в пути* — это суммарное время, затрачиваемое транспортом на рейс.



Рис.2. Общий подход

### 3.1. Сбор и обработка информации

Метод сбора информации состоит из трёх этапов: запись данных, извлечение и анализ данных рис. 3. Сбор данных о времени в пути с геолокационной привязкой при помощи GPS является новым ранее не применённым подходом в контексте исследуемого региона. Данные включают в себя массивы данных содержащие местоположения точек, скорость автобуса, дату и времени.

Информация о времени прибытия и отправления на каждой из автобусных остановок, являются наиболее важными. Для исследования был выбран автобусный маршрут №51, где в течении месяца собирались данные о передвижении подвижного состава. На основе собранных данных были определены пиковые и не пиковые часы для исследуемого маршрута. Утренние (дневные) пиковые периоды - с 7:00 до 9:00 (с 17:30 до 19:30). Данные о времени в пути по выбранному маршруту одинаковы для каждого дня и выполнялись в обычных условиях. Всего было собрано данных о 125 выполненных рейсов в будние дни, и 90 рейсов в выходные. В среднем для будних дней 7 автобусов × 9 оборотных рейсов = 63 оборотов, для субботы 6 автобусов × 9 оборотов и для воскресенья 5 автобусов × 10 оборотов.

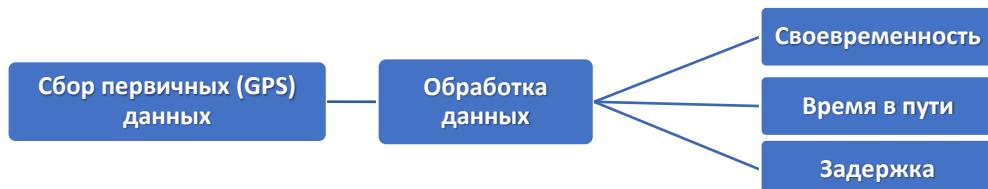


Рис. 3. Процесс сбора и обработки данных

Первичные необработанные данные содержат в себе активность за весь день, включая время, когда они припаркованы в депо в ночное время и время ожидания на конечных остановках во время обеденного перерыва. Некоторые из них не нуждаются в анализе в нашем исследовании. Они должны быть отфильтрованы в соответствии с целью исследования. Данные необходимые для исследования были отфильтрованы с помощью разработанного на алгоритме показанного на рис. 4.

Первым шагом в этом процессе является присвоение уникального идентификационного номера отдельным поездкам на автобусе.

На втором этапе назначаются идентификаторы, широта и долгота статичных объектов. Для этого определяется данные широты и долготы всех статичных (автобусные остановки, все перекрёстки, пешеходные переходы и другие) объектов на маршруте.

На третьем этапе собранные данные сохраняются в базу данных. На следующем этапе определяется закончен ли ввод всех данных.

Пятый этап определяет скорость движения автобуса и его текущую локацию. В случае если скорость выше 0 км/ч определяется время движения, в ином случае проверяет текущую локацию автобуса соответственно локации статичных объектов.

В случае несоответствия локации автобуса и объекта данные записываются как количество и продолжительность неявных задержек. В случае соответствия осуществляется проверка соответствия локации автобуса локациям промежуточных и конечных остановок и в случае соответствия определяется время отстоя и простоя, в противном случае данные о количестве и продолжительности задержек вносятся в базу как явные задержки.

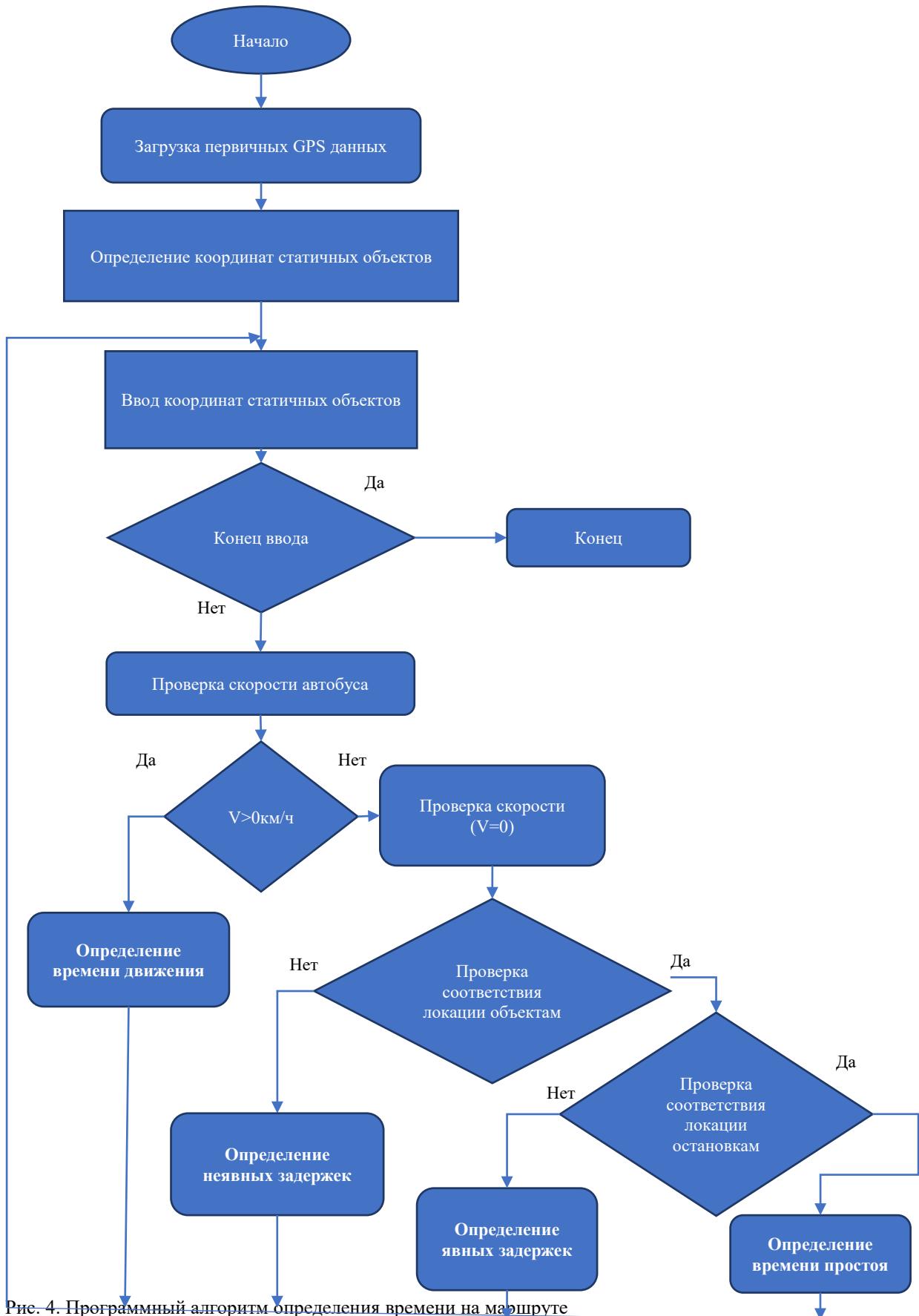


Рис. 4. Программный алгоритм определения времени на маршруте

### 3.2. Характеристика исследуемого маршрута

Данный маршрут был выбран в связи с тем, подвижной состав в полном объёме оборудован приборами GPS и проходит по одним из наиболее загруженных городских улиц. Некоторые сегменты выбранного маршрута имеют четыре полосы движения в обоих направлениях. Выбранный маршрут № 51 представлен на рис. 5. Основная часть маршрута расположена на магистральных дорогах города.

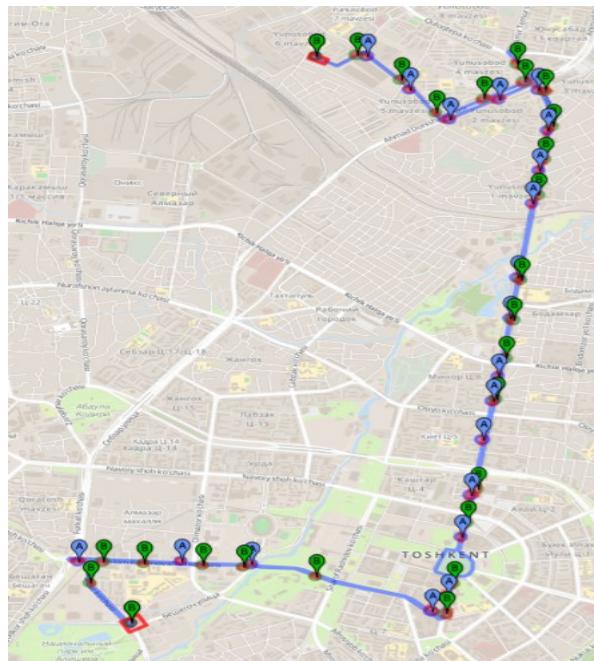


Рис. 5. Маршрут №51

Характеристики маршрута:

- Длина оборотного рейса - 28,5 км;
- Длина маршрута 13,9 км для прямого А-направления с 22 остановками (Юнусабад-6 кв - площадь Бешагач);
- Длина маршрута 14,6 км для обратного В-направления с 26 остановками (площадь Бешагач - Юнусабад-6кв);
- На протяжении маршрута имеется 18 регулируемых перекрёстков;
- XXX нерегулируемых перекрёстков и пешеходных переходов;
- Время работы маршрута с 5:30 до 22:00;
- Интервал движения по установленному расписанию 12-13 минут в часы пик;

#### 4. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА ВРЕМЕНИ В ПУТИ И ЗАДЕРЖКИ

*Время в пути (TT)* - продолжительность периода времени между двумя точками интереса. Оно определяется как разница в времени прибытия и времени отправки:

$$TT_{ij} = T_{\text{приб}} - T_{\text{отпр}} \quad (1)$$

где i- и j-индексы между любыми статичными объектами i – остановки j – определенный интервал времени рейса;

$T_{\text{приб}}$  – время прибытия на остановку;

$T_{\text{отпр}}$  – время отправления.

*Время задержки (DT)* – общее затраченное на явные и не явные задержки на маршруте. Оно определяется как разница между фактическим временем в пути и временем установленном временем в пути:

$$DT_i = |T_{\text{факт}} - T_{\text{план}}| \quad (2)$$

где,  $T_{\text{факт}}$  – фактическое время в пути;

$T_{\text{план}}$  – установленное время в пути.

*Задержка отправления (DD)* – разница между запланированным и фактическим временем отправления для заданной локации. Оно определяется:

$$DT_i = |T_{\text{Оплан}} - T_{\text{0факт}}| \quad (3)$$

где,  $T_{\text{0факт}}$  – фактическое время отправления и  $T_{\text{Оплан}}$  – установленное время отправления.

*Задержка прибытия (AD)* – разница между запланированным и фактическим временем прибытия для заданной локации.

$$DT_i = |T_{\text{Пплан}} - T_{\text{Пфакт}}| \quad (4)$$

где  $T_{\text{Пфакт}}$  – фактическое время прибытия;

$T_{\text{план}}$  – установленное время прибытия.

*Общее время в пути на маршруте ( $TT_{\text{общ}}$ )* – Суммарные времена работы подвижного состава на маршруте за заданный период.

$$TT_{\text{общ}} = \sum T_{\text{дв}} + \sum T_{\text{неявн}} + \sum T_{\text{явл}} \quad (5)$$

где  $T_{\text{дв}}$  – время движения,

$T_{\text{неявн}}$  – общая продолжительность неявных задержек;

$T_{\text{явл}}$  – общая продолжительность простоя на остановках.

## 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕНИ В ПУТИ

На сегодняшний день нет универсального метода для определения надёжности времени в пути, а показатели оценки надёжности меняются в зависимости от конкретных условий исследуемых участков. В связи с этим во многих работах авторы фокусируются на нескольких показателях надёжности времени в пути. Существует дискуссия о том, какой подход является более эффективным [10, 33, 34].

В данной работе на основе имеющихся данных для оценки надёжности времени в пути были определены следующие показатели:

- Своевременность – указывает на вероятность того, что автобусы будут следовать, как указано в расписании;
- Задержка прибытия – показывает разницу между запланированным временем прибытия и фактическим временем прибытия;
- Время в пути – указывает время между двумя начальными и конечными терминалами.

### 5.1. Распределение времени в пути

Для анализа маршрута были взяты выборочные данные за один день во вторник 12.09.2018. Поездка началась в 6:10 утра от Юнусабад бкВ и закончилась в 20:40 на конечной остановке. Итоги анализа указаны на рис. 6.

Время в пути — это количество времени, которое занимает автобус, чтобы ехать по заданному маршруту, оно состоит из двух основных компонентов: времени движения (63%) и времени остановки (37%). Время остановки подразделяется на время, проводимое на конечных (13%) и промежуточных остановках (24%). Время в движении в свою очередь подразделяется на время в движении (52%) и затрачиваемое на **неявные задержки** (11%).

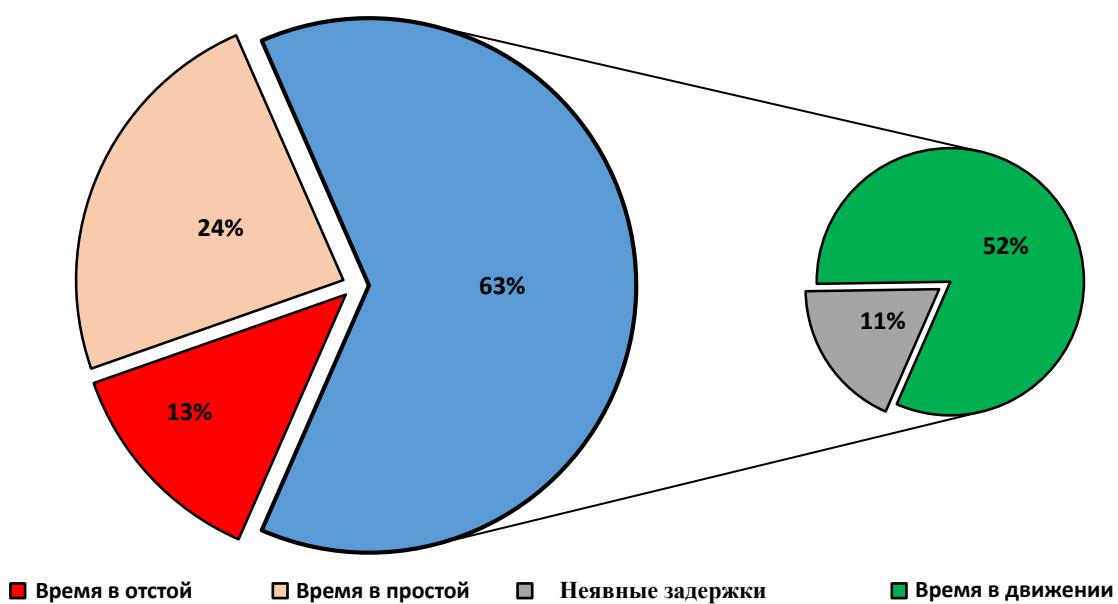


Рис.6.Среднесуточное процентное соотношение временных показателей

На рис. 7. показано распределение времени в пути для автобусов в течении месяца, из которых для анализа рейса в прямом и обратном направлении по маршруту выбрано 135 рейсов. Результаты анализа временных параметров (Запланированное и фактическое время поездки, среднее значение, медиана, стандартное отклонение, максимумы и минимумы времени в пути) для выбранных рейсов представлены на гистограммах отображённых в рис. 8 и рис. 9.

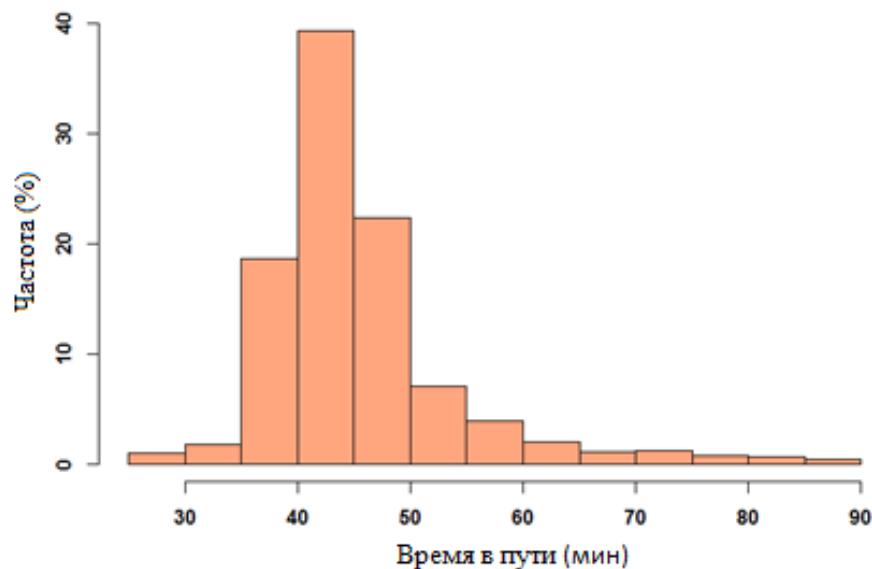


Рис.7. Распределение времени в пути за сентябрь 2018 г.

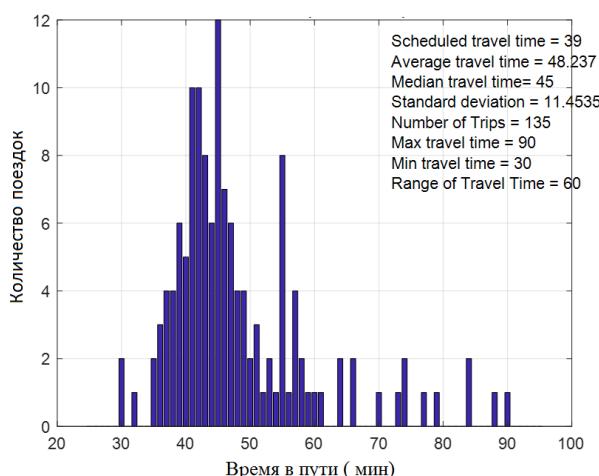


Рис.8. Распределение времени в пути по прямому направлению

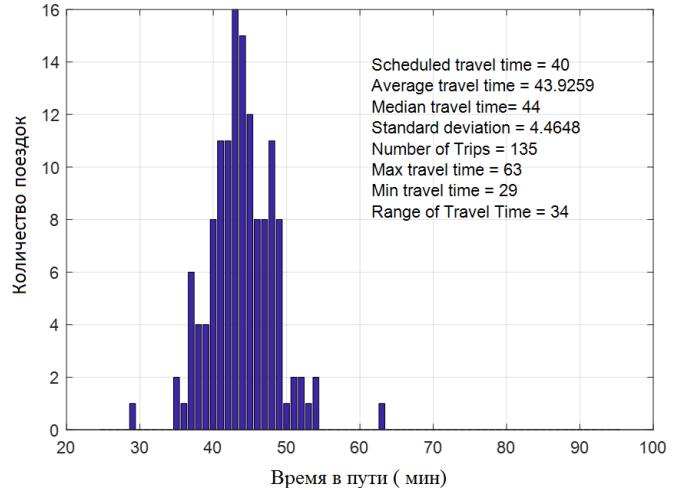


Рис.9. Распределение времени в пути по обратному направлению

На рис. 8 и рис. 9 показаны распределения времени в пути исследуемого маршрута в обоих направлениях. Время в пути составило от 30 до 90 минут со средним значением 45 минут для прямого направления что превышает запланированное среднее время в пути (39 минут) на 6 минут (15%). Эта разница в 15% требует тщательного пересмотра запланированного времени в пути в разрезе отдельно взятых временных интервалов. Кроме того, время, отведённое для простоя на конечных остановках для этой поездки, также требует пересмотра. Наблюдаемое максимальное время в пути для заданной выборки в прямом направлении составило 90 минут. Его 95-й процентиль времени в пути для утренних часов пик в прямом направлении составил 67,8 минут, что означает, указывает на среднюю задержку на  $(67,8-39) = 29$  минут, которые также требуют учёта при составлении графика движения. Эти значения указывают, на то, что в конце маршрута у водителей не остаётся времени на восстановление, а следующие рейсы выходят с задержкой.

В случае обратного В-направления, средние значения фактического времени в пути (44 минут) превышают запланированные (40 минут) на 4 минуты. Фактическое максимальное время в пути составляет 63 минуты, наблюдаемое время в пути 95-го процентиля составляет 49 минут, это означает, что для обратного направления-В требуется в среднем 43,9 минуты времени на рейс. На данном маршруте для обратного направления-В время на отстой не предусмотрено графиком движения.

## 5.2. Изменчивость времени в пути

Изменчивость времени в пути любого из этих элементов приводит к низкой надёжности обслуживания. Как упоминалось выше, общее время в пути и его изменчивость связаны как с явными, так и с неявными факторами задержки. Неявная задержка включает в себя различные инциденты, погоду и специальные события. Явная задержка является результатом недостаточной ёмкости или работы. Приведённый ниже анализ сфокусирован на оценке ежедневных изменений времени в пути, а также изменений времени в пути в разрезе

отдельно взятых дней и временных интервалов.

На рис. 10 и рис. 11 отображено сравнение ежедневного изменения времени в пути, которое варьируется в зависимости от дня недели из-за изменений в интенсивности движения транспортных средств и пассажиропотоках. Дни недели или месяца должны иметь одинаковое время в пути без неожиданных событий. В этом случае, как мы изучили, данные четырёх одинаковых дней сентябрьского месяца сравнивались на рис. 12. Сравнение было проведено между временами поездки, собранными в понедельник, 4, 11, 18 и 25 сентября в течение периода исследования. Значения вертикальной оси на графике на всех рисунках показывают среднее время прохождения в минутах.

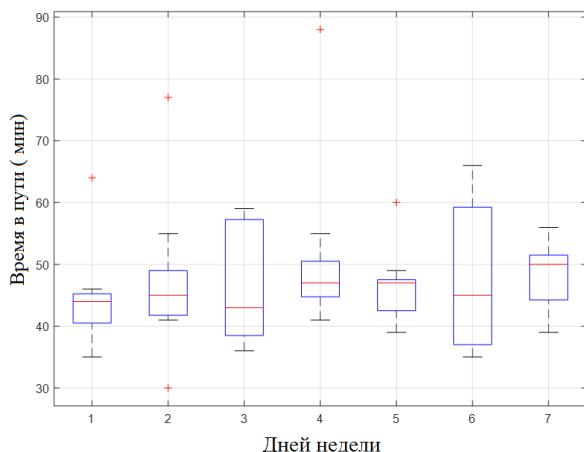


Рис. 10. Изменчивость времени в пути для дней недели в прямом направлении-А

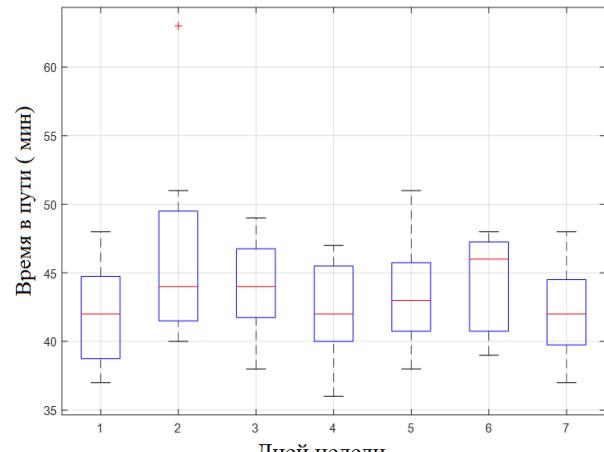


Рис. 11. Изменчивость времени в пути для дней недели в прямом направлении-В

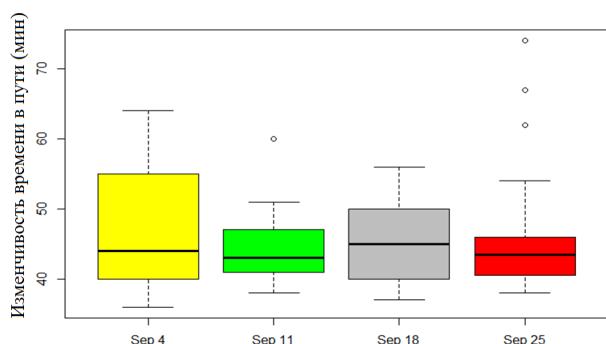


Рис. 22. Изменчивость времени в пути в каждый понедельник в течении месяца

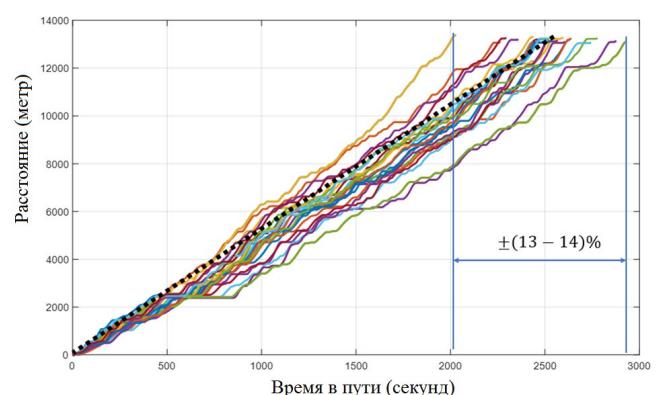


Рис. 33. Время в пути для одного и того же временного интервала

Задержка определяется как дополнительное время, потраченное на вождение в условиях загруженности дороги и затраченного времени на остановку для посадки и высадки пассажиров, по сравнению с запланированным соблюдением графика в условиях свободного движения. На рис. 13 показана вариативность времени в пути для одного и того-же временного интервала вызванная задержками различными факторами.

### 5.3. Статистический анализ времени в пути

Для анализа выбраны три показателя оценки изменчивости времени в пути:

*Своевременность* – своевременность выполнения рейсов является наиболее важным показателем для пассажиров. Она определяется на основе логит-регрессивной модели с учётом соблюдения автобусом графика движения в пределах  $\pm 2$  минут.

*Задержка прибытия* – это разница во времени между фактическим временем прибытия и расписанием.

*Время в пути* – указывает продолжительность поездки от конечной остановки в начале маршрута до конечной остановки в конце.

*Задержка прибытия и время в пути* определяются линейной многомерной регрессионной моделью.

Предполагается что время в пути будет увеличиваться с увеличением числа всевозможных остановок на маршруте. Время поездки будет увеличиваться для утренних и вечерних пиковых рейсов в сравнении с непиковыми рейсами. Ожидается, что они связаны с переменными активности пассажиров, что окажет негативное влияние на время в пути. Иногда, в связи с несвоевременностью выполнения рейса и попытками нагнать упущенное время со стороны перевозчика, периодическая задержка может оказать положительное влияние на время в пути для отдельно взятых пассажиров.

Для подтверждения или опровержения данных гипотез была разработана модель, представляющая зависимые переменные указанные в таблице 1, которые будут вычисляться посредством независимых переменных указанных в таблице 2.

Таблица 1

Зависимые переменные			
Обозначение	Наименование	Математическое описание	Единицы измерения
$Y_1$	Своевременность	$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + a_6X_6 + \dots + a_nX_n$	%
$Y_2$	Задержка прибытия		Минута
$Y_3$	Время в пути		Минута

Таблица 2

Независимые переменные		
Обозн.	Наименование	описание
$X_1$	Направление маршрута	Направление маршрута, в прямом направлении-А = 1, в обратном направлении-В = 0
$X_2$	Дополуденные часы пик	Двоичная переменная, (принимает значение 1 для утренних пиков с 07:00-09:00, в остальных случаях =0)
$X_3$	Послеполуденные часы пик	Двоичная переменная, (принимает значение 1 для утренних пиков с 17:00-19:00, в остальных случаях =0)
$X_4$	Время простоя	длительностьостоя на каждой остановке
$X_5$	Задержка в отправлении	Задержка в времени отправки, определяется как разница в фактического и планируемого времени отправки на рейс.
$X_6$	Количество фактических остановок	Фактическое число остановок на автобусных остановках
$X_7$	Количество неявных задержек	Количество неявных задержек на протяжении рейса
$X_8$	Расположение остановок	Двоичная переменная, (Принимает значение 1 если между текущей и следующей остановкой имеется регулируемый перекрёсток или пешеходный переход, в остальных случаях 0)
$X_9$	Отсутствие остановочного кармана	Двоичная переменная, принимает значение 1 если место остановки автобуса расположено на полосе проезжей части, в случае наличия автобусного кармана 0)
$X_{10}$	Регулируемые перекрёстки и пешеходные переходы	Количество регулируемых перекрёстков и пешеходных переходов на протяжении маршрута
$X_{11}$	Нерегулируемые перекрёстки и пешеходные переходы	Количество нерегулируемых перекрёстков и пешеодных переходов на протяжении маршрута

Результаты по трём разработанным моделям для каждой из зависимых переменных отражены в таблице 3. Все переменные коэффициенты имеют ожидаемые значения и являются статистически значимыми на уровне 1%, за исключением некоторых характеристик, которые значимы на уровне 5%. Независимые переменные расположение остановок, и расположение регулируемых перекрёстков не включены в результаты из-за их статистической незначимости.

Таблица 3  
Оценочные результаты модели.

Независимые переменные	Зависимые переменные		
	$Y_1$ (Своевременность)	$Y_2$ (Задержка прибытия)	$Y_3$ (Время в пути)
свободный коэффициент	0.112** (0.050)	-17.251*** (3.492)	35.704*** (0.461)
Направление маршрута ( $X_1$ )	-0.048 (0.034)	3.124*** (0.579)	0.100 (0.399)
$X_5$ (Задержка в отправлении)	-0.012*** (0.002)	0.633*** (0.022)	0.635*** (0.022)
$X_2$ (Дополуденные часы пик)	-0.099*** (0.038)	0.948** (0.441)	0.977** (0.443)

Продолжение таблицы 3

$X_3$ (Последополуденные часы пик)	-0.096** (0.042)	0.676 (0.482)	0.724 (0.485)
$X_7$ (Количество неявных задержек)	-0.046*** (0.004)	1.114*** (0.051)	1.116*** (0.051)
$X_6$ (Количество фактических остановок)	0.040*** (0.012)	0.499*** (0.143)	0.499*** (0.144)
Наблюдения Корректированный R <sup>2</sup>	755	755 0.677	755 0.663

\*p&lt;0.1; \*\*p&lt;0.05; \*\*\*p&lt;0.01

#### Своевременность.

- *Направление маршрута X<sub>1</sub>* — считается наиболее чувствительной переменной, изучаемой с точки зрения ее влияния на своевременность. Результаты для коэффициента направления показывают, что показатель Y<sub>1</sub> в прямом направлении-А на 4,8 процента меньше, чем в обратном направлении-В.
- Переменные *Дополнительные X<sub>2</sub>* и *последополуденные X<sub>3</sub>* часы пик — это коэффициенты -0,099 и -0,096 соответственно, что показывает наличие одной из наиболее чувствительных и отрицательных взаимосвязей с Y<sub>1</sub>. Каждое изменение единицы X<sub>2</sub> и X<sub>3</sub> оказывает ≈10% отрицательное влияние на значение Y<sub>1</sub>.
- *Неявные задержки* являются следующими с точки зрения чувствительности отношений с Y<sub>1</sub>. Каждая дополнительная неявная задержка, оказывает негативное влияние на показатель Y<sub>1</sub> на 4,6%. Это подчёркивает необходимость обеспечения приоритетности автобуса при составлении маршрута.
- *Количество фактических остановок X<sub>6</sub>* — является единственным показателем, оказывающим значимое позитивное влияние на своевременность. Это связано с тем, что водители иногда пропускают автобусные остановки, и каждая необслуженная (пропущенная автобусная остановка) оказывает 4% положительное влияние на своевременность маршрута.
- *Задержка в отправлении X<sub>5</sub>* — оказывает умеренное влияние на показатель своевременности Y<sub>1</sub>. Каждая дополнительная минута задержки отправлении снижает вероятность успешного своевременного выполнения рейса на 1,2%.

#### Время в пути.

Модель времени выполнения имеет практически все переменные из Таблица 3, оказывают статистически значимое влияние на время выполнения. Каждая единица длительности утреннего и вечернего часа пик увеличивает время в пути на 97,7% и 72,4% соответственно. Каждая фактическая остановка увеличивает время прохождения маршрута на полминуты (0,499), а каждая неявная задержка более чем на минуту, в частности 111.6%. В случаях, когда на отправной остановке автобус задерживается на одну единицу времени, ожидается, что время в пути увеличится на 38 секунд (0,635).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика анализа больших данных, собираемых с помощью оборудования (GPS), которые использованы для оценки маршрута по различным показателям.

Разработан программный алгоритм для расчёта таких показателей как своевременность, задержка прибытия и времени в пути для произвольно взятого временного диапазона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. “Основные направления перехода к «зеленой» экономике в секторе городского транспорта,” Tashkent, 2013.[In Russian: (2013) *The main directions of the transition to a green economy in the urban transport sector*. Tashkent]
2. S. E. Jabari, “Node modeling for congested urban road networks,” *Transp. Res. Part B Methodol.*, 2016, doi: 10.1016/j.trb.2016.06.001.
3. Y. Wang and Y. Y. Chen, “Modeling the effect of microscopic driving behaviors on Kerner’s time-delayed traffic breakdown at traffic signal using cellular automata,” *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 463, pp. 12–24, 2016, doi: 10.1016/j.physa.2016.06.126.
4. E. Durán-Hormazábal and A. Tirachini, “Estimation of travel time variability for cars, buses, metro and door-to-door public transport trips in Santiago, Chile,” *Res. Transp. Econ.*, 2016, doi: 10.1016/j.retrec.2016.06.002.
5. Z.-L. Ma, L. Ferreira, M. Mesbah, and A. T. Hojati, “Modeling Bus Travel Time Reliability with Supply and Demand Data from Automatic Vehicle Location and Smart Card Systems,” *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, 2015, doi: 10.3141/2533-03.
6. Y. Shiftan, S. Kaplan, and S. Hakket, “Scenario building as a tool for planning a sustainable transportation system,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, 2003, doi: 10.1016/S1361-9209(03)00020-8.
7. M. Grote, I. Williams, J. Preston, and S. Kemp, “Including congestion effects in urban road traffic CO<sub>2</sub> emissions modelling: Do Local Government Authorities have the right options?,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 43, pp. 95–106, 2016, doi: 10.1016/j.trd.2015.12.010.

8. [B. Yu, J. Zhang, and A. Fujiwara, “Rebound effects caused by the improvement of vehicle energy efficiency: An analysis based on a SP-off-RP survey,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 24, pp. 62–68, 2013, doi: 10.1016/j.trd.2013.06.001.]
9. [M. M. Nesheli and A. Ceder, “Improved reliability of public transportation using real-time transfer synchronization,” *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, 2015, doi: 10.1016/j.trc.2015.10.006.]
10. Y. Yan, Z. Liu, and Y. Bie, “Performance Evaluation of Bus Routes Using Automatic Vehicle Location Data,” *J. Transp. Eng.*, 2016, doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000857.
11. J. W. C. van Lint, S. P. Hoogendoorn, and H. J. van Zuylen, “Accurate freeway travel time prediction with state-space neural networks under missing data,” *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, 2005, doi: 10.1016/j.trc.2005.03.001.]
12. F. Moretti, S. Pizzuti, S. Panzieri, and M. Annunziato, “Urban traffic flow forecasting through statistical and neural network bagging ensemble hybrid modeling,” *Neurocomputing*, vol. 167, pp. 3–7, 2015, doi: 10.1016/j.neucom.2014.08.100.
13. J. W. C. van Lint, H. J. van Zuylen, and H. Tu, “Travel time unreliability on freeways: Why measures based on variance tell only half the story,” *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 42, no. 1, pp. 258–277, 2008, doi: 10.1016/j.tra.2007.08.008.
14. J. W. C. van Lint, H. J. van Zuylen, and H. Tu, “Travel time unreliability on freeways: Why measures based on variance tell only half the story,” *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, 2008, doi: 10.1016/j.tra.2007.08.008.
15. H. Tu, H. Li, H. van Lint, and H. van Zuylen, “Modeling travel time reliability of freeways using risk assessment techniques,” *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, 2012, doi: 10.1016/j.tra.2012.07.009.
16. J. G. Strathman and J. R. Hopper, “Empirical analysis of bus transit on-time performance,” *Transp. Res. Part A*, 1993, doi: 10.1016/0965-8564(93)90065-S.
17. Y. Guessous, M. Aron, N. Bhouri, and S. Cohen, “Estimating travel time distribution under different traffic conditions,” in *Transportation Research Procedia*, 2014, doi: 10.1016/j.trpro.2014.10.014.
18. R. B. Noland and J. W. Polak, “Travel time variability: A review of theoretical and empirical issues,” *Transp. Rev.*, 2002, doi: 10.1080/01441640010022456.
19. A. Delbosc and G. Currie, “Modelling the causes and impacts of personal safety perceptions on public transport ridership,” *Transp. Policy*, 2012, doi: 10.1016/j.tranpol.2012.09.009.
20. M. Zhou, D. Wang, Q. Li, Y. Yue, W. Tu, and R. Cao, “Impacts of weather on public transport ridership: Results from mining data from different sources,” *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, 2017, doi: 10.1016/j.trc.2016.12.001.
21. S. A. Kashfi, J. M. Bunker, and T. Yigitcanlar, “Modelling and analysing effects of complex seasonality and weather on an area’s daily transit ridership rate,” *J. Transp. Geogr.*, 2016, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2016.06.018.
22. S. A. Kashfi, J. M. Bunker, and T. Yigitcanlar, “Effects of Transit Quality of Service Characteristics on Daily Bus Ridership,” *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, 2015, doi: 10.3141/2535-06.
23. M. Hofmann and M. O’Mahony, “The impact of adverse weather conditions on urban bus performance measures,” in *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 2005, doi: 10.1109/ITSC.2005.1520087.
24. W. Feng, M. Figliozzi, and R. L. Bertini, “Quantifying the joint impacts of stop locations, signalized intersections, and traffic conditions on bus travel time,” *Public Transp.*, 2015, doi: 10.1007/s12469-015-0105-8.
25. M. M. Nesheli, A. Ceder, and T. Liu, “A robust, tactic-based, real-time framework for public- transport transfer synchronization,” in *Transportation Research Procedia*, 2015, doi: 10.1016/j.trpro.2015.07.014.
26. A. Rodriguez and A. Danaher, “Operational Comparison of Transit Signal Priority Strategies,” *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, 2014, doi: 10.3141/2418-10.
27. M. D. Abkowitz and I. Engelstein, “Factors affecting running time on transit routes,” *Transp. Res. Part A Gen.*, 1983, doi: 10.1016/0191-2607(83)90064-X.
28. E. Diab, R. Bertini, A. El-Geneidy, I. Washington, and D. Diab, “Bus transit service reliability: Understanding the impacts of overlapping bus service on headway delays and determinants of bus bunching,” *Transp. Res. Board, 95th Annu. Meet.*, 2016.
29. J. Strathman *et al.*, “Automated Bus Dispatching, Operations Control, and Service Reliability: Baseline Analysis,” *Transp. Res. Rec.*, 1999, doi: 10.3141/1666-04.
30. E. Mazloumi, G. Currie, and G. Rose, “Using GPS data to gain insight into public transport travel time variability,” *J. Transp. Eng.*, 2010, doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000126.
31. A. El-Geneidy M, J. Hourdos, and J. Horning, “Bus Transit Service Planning and Operations in a Competitive Environment,” *J. Public Transp.*, 2009.
32. E. Albright and M. Figliozzi, “Factors Influencing Effectiveness of Transit Signal Priority and Late-Bus Recovery at Signalized-Intersection Level,” *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, 2012, doi: 10.3141/2311-18.
33. K. Gkiotsalitis and N. Maslekar, “Improving Bus Service Reliability with Stochastic Optimization,” in *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 2015, doi: 10.1109/ITSC.2015.449.
34. W. Leong, K. Goh, S. Hess, and P. Murphy, “Improving bus service reliability: The Singapore experience,” *Res. Transp. Econ.*, 2016, doi: 10.1016/j.retrec.2016.07.025.

## DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF AMBIENT TEMPERATURE ON GENERALIZED INDICATORS OF THE EFFICIENCY OF TRUCK USE

**Jasur Rafikovich KULMUKHAMEDOV**, candidate of technical sciences, associate professor

Director of Tashkent automobile and road professional college

53, Baynalminal Str., Tashkent, Uzbekistan

Tel: +998(71) 278-23-34

\*e-mail: said7778akbar@mail.ru

**Ravshan Saidumarovich KHIKMATOV**, candidate of technical sciences, associate professor

Tashkent institute for design, construction and operation of road

Chair “Vehicles”

20, Mavaraunnaxr Str., Tashkent, Uzbekistan

**Alisher Ravshanovich SAIDUMAROV**, research seeker

Scientific-productional centre “Uzavtotranstechnics”

6, A.Temur av., Tashkent, Uzbekistan

Tel.: +998(71)202-05-00 (174)

**Abstract:** Modern foreign and domestic literature has sufficient information to study the increase in fuel economy of cars and consequently, their adaptability to the conditions of a hot-dry climate. However, cars manufactured by factories have low efficiency for use in conditions of elevated ambient temperatures.

There are no proven and unified methods for their assessment in hot-dry climates. Therefore, the development of analytical methods for calculating fuel economy in modeling the movement of cars on a real route in a hot climate is an urgent task.

The technique of modeling the movement of truck along a typed route in a hot climate is given. Dependencies of the path fuel consumption on each section and on the typed route as a whole are obtained.

On the basis of this, it was concluded that the refined mathematical model, which takes into account the temperature changes in the environment, makes it possible to objectively determine the degree of fitness of trucks by traction and speed properties and fuel economy to these conditions at the design stage.

**Key words:** fuel consumption; driving mode; fuel; ambient temperature.

### **ЮК АВТОМОБИЛЛАРИНИНГ ФОЙДАЛАНИШ САМАРАДОРЛИГИНИ УМУМЛАШТИРИЛГАН КҮРСАТКИЧЛАРИГА АТРОФ МУХИТ ХАРОРАТИНИНГ ТАЪСИРИНИ АНИҚЛАШ**

**Джасур Рафикович КУЛЬМУХАМЕДОВ**, т.ф.н., доцент

Ташкент автомобиль-йўллар касб хунар коллежи директори

Ўзбекистон, Тошкент, Байналминал кўч., 53

Тел.: +998(71)278-23-34

\*e-mail: said7778akbar@mail.ru

**Равшан Сайдумарович ХИКМАТОВ**, т.ф.н., доцент

Тошкент автомобиль йўлларини лойихалаш, куриш ва эксплуатацияси институти

«Транспорт воситалари» кафедраси,

100006, Ўзбекистон, Тошкент, Моварауннахр кў., 20

Тел.: +998(71)278-23-34

**Алишер Равшанович САИДУМАРОВ**, соискатель

«Ўзавтотранстехника» илмий-ишлаб чиқариш маркази

Ўзбекистон, Тошкент, А.Темур кўч., 6

Тел.: +998(71)202-05-00 (174)

**Аннотация:** Замонавий хорижий ва маҳаллий адабиётларда автомобилларнинг ёнилғи тежамкорлигини ўрганиш учун етарли маълумотлар мавжуд ва шунингдек уларнинг иссиқ қуруқ иқлим шароитига мослашуви хақида. Бироқ, заводлар томонидан ишлаб чиқарилаётган автомобиллар юқори харорат шароитида паст самарадорликка эга. Иссиқ қуруқ шароитида баҳолаш услублари мавжуд эмас.

Шу сабабли, иссиқ қуруқ иқлим шароитида хақиқий йўналишларда харакатланишини моделлаштиришда юқори тезликни хисоблашни аналитик усулларини ишлаб чиқиши долзарб вазифа хисобланади.

Юк автомобилларини иссиқ қуруқ иқлим шароитида харакатини моделлаштириш услуги келтирилган. Хар бир участкада ва бутун маршрутда ёнилғи сарфини боғлиқлиги аниқланди. Шундан келиб чиқсан холда, лойихалаш жараённада атроф мухитдаги харорат ўзгаришини хисобга оладиган такомиллаштирилган математик модель юк автомобилларининг тортиш тезлик хусусиятлари ва ёнилғи тежамкорлиги бўйича мослашиш даражасини объектив равишда аниқлаш имконини беради.

**Калит сўзлар:** ёнилғи сарфи; харакат режими; ёнилғи; атроф мухит харорати.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОБОБЩЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

**Джасур Рафикович КУЛЬМУХАМЕДОВ**, к.т.н., доцент, директор  
Ташкентский автомобильно-дорожный профессиональный колледж  
Узбекистан, Ташкент, ул. Байналминал, 53  
Тел.: +998(71)278-23-34

\*e-mail: said7778akbar@mail.ru

**Равшан Сайдумарович ХИКМАТОВ**, к.т.н., доцент  
Ташкентский институт по проктированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог  
кафедра «Транспортные средства»,  
Узбекистан, Ташкент, ул. А. Темур, 6  
Тел.: +998(71)278-23-34

**Алишер Равшанович САИДУМАРОВ**, соискатель  
Научно-производственный центр «Узавтотранстехника»  
Адрес: Узбекистан, г. Ташкент,  
Телефон: +998(71)202-05-00 (174)

**Аннотация:** Современная зарубежная и отечественная литература располагает достаточными сведениями по изучению повышения топливной экономичности автомобилей и, следовательно, приспособленности их к условиям жарко-сухого климата. Однако, выпускаемые заводами автомобили обладают низкой эффективности к эксплуатации в условиях повышенных температур окружающей среды. Отсутствуют апробированные и унифицированные методы их оценки в условиях жарко-сухого климата. Поэтому разработка аналитических методов расчета топливной экономичности при моделировании движения автомобилей на реальном маршруте в условиях жаркого климата является актуальной задачей.

Приведена методика моделирования движения грузовых автомобилей по типизированному маршруту в условиях жаркого климата. Получены зависимости путевого расхода топлива на каждом участке и на типизированном маршруте в целом. На основании этого сделан вывод, что уточненная математическая модель, которая учитывает температурные изменения окружающей среды, позволяет объективно определить степень приспособленности грузовых автомобилей по тягово-скоростным свойствам и топливной экономичности к данным условиям на стадии проектирования.

**Ключевые слова:** расход топлива; режим движения; топлива; температура окружающей среды.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Важнейшими проблемами современности являются разработка путей рационального использования энергоресурсов и их экономия. Исключительно большое значение придается вопросам экономии расхода топлива. Грузовые автомобили и автопоезда – одни из основных потребителей жидкого топлива и, следовательно, повышение топливной экономичности этого вида транспорта является существенным резервом его экономии.

При разработке мероприятий по повышению конструктивной эффективности грузовых автомобилей способствующих повышению топливной экономичности, необходимо располагать данными о величине каждой из составляющих сопротивления движению автомобиля и о влиянии на них конструктивных и эксплуатационных факторов в условиях жаркого климата [9, 18].

Использование теоретических и экспериментальных банк данных по эксплуатационным свойствам грузовых автомобилей, особенно взаимодействие колес с дорогой, конструкция шин, внутреннее аэродинамическое сопротивление и т.д., существенно затрудняет использование их из-за сложности применения способов и методов измерения, а также обработки результатов. А также отсутствие достоверных аналитических зависимостей между составляющими сопротивления движению и расходами топлива затрудняет определение расчетным путем эффективности вводимых конструктивных изменений, и выбор оптимальных решений в условиях повышенных температур окружающей среды. В связи с вышесказанным разработка рациональных методов, оценки топливной экономичности является актуальной [9].

Целью данной работы является разработка методики определения аналитическим путем расхода топлива в условиях жаркого климата и обоснование достоверности, а также возможности ее применения путем сравнения с результатами испытаний.

Разработка аналитических методов расчета топливной экономичности при моделировании движения автотранспортных средств (АТС) в условиях жаркого климата – актуальная задача. Решение этой задачи позволяет существенно снизить затраты материальных и финансовых ресурсов на стадии проектирования и нормирования в условиях эксплуатации [7].

## 2. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

В работе [4] рассмотрен метод улучшения показателей топливной экономичности силовой установки автомобиля с электромеханической трансмиссией. Проведены расчетные исследования энергетического баланса силовой установки автомобиля при его движении в соответствии с новым Европейским испытательным циклом NEDC. Реальные режимы работы автомобильного двигателя моделируются ездовыми циклами, которые используется для оценки интегральных показателей токсичности отработавших газов автомобильных двигателей [1,6,8].

В работе [13] рассмотрены основные факторы, влияющие на показатели топливной экономичности. Разработана модель и проведены виртуальные испытания с использованием программного пакета GT-SUITE.

Анализ результатов показали возможность использования расчетно-экспериментальной методики оценки расхода топлива автомобиля при движении по заданному маршруту на стадии проектных и доводочных работ и могут служить основой для разработки усовершенствованной теоретической методики расчета расхода топлива в эксплуатационных условиях.

Принято допущение, что возмущение действующее на колеса автомобиля и формируемое микро профилем поверхности [2,10,12,18,19], для большинства дорог I, II и III категорий с асфальтобетонным покрытием на скорость движения влияет мало.

Предложен модифицированный испытательный цикл, более точно описывающий фазы движения автомобиля. В основу расчета путевого расхода топлива при движении транспортного средства в соответствии с определенным законом изменения скорости движения от времени положен мощностной баланс – равенство суммы мощностей, затрачиваемых на преодоление сопротивления трения качения колес, аэродинамического сопротивления и преодоление сил инерции при ускорении автомобиля, мощности, развиваемой двигателем, с учетом потерь в трансмиссии [3].

Вопрос снижения эксплуатационного расхода топлива автомобильными силовыми установками требует пристального внимания, так как ограничения на выбросы CO<sub>2</sub>, носит законодательный характер и со временем будут ужесточаться [5]. Современные ездовые циклы, первоначально разрабатываясь для оценки экологических характеристик автомобилей, не в полной мере отражают специфику движения современных транспортных средств в реальных условиях эксплуатации. Следует признать, что применение экспериментально-расчетных методик для оценки эксплуатационного расхода топлива позволяет значительно сократить объем дорогостоящих и длительных экспериментальных исследований без снижения точности результатов за счет сведения расчетов к единому методическому подходу. Следует вести дальнейшие исследования по совершенствованию методик объективной оценки выбросов CO<sub>2</sub> силовыми установками автомобилей с целью поиска рациональных путей снижения эксплуатационного расхода топлива транспортными средствами.

При эксплуатации грузовых автомобилей на показатели топливной экономичности существенно влияют сезонные условия. На основе экспериментальных исследований определен вид двухфакторной математической модели совместного влияния типа, состояния дорожного покрытия и скорости движения на расход топлива. Исследуемые зависимости описываются экспоненциальными математическими моделями. Использование полученных результатов исследования при планировании доставки грузов позволяет адекватно интерпретировать и моделировать процессы изменения качества грузовых автомобилей с учетом сезонной вариации условий эксплуатации, что позволит наиболее точно определить пути снижения энергетических затрат и, как следствие, повысить эффективность использования транспортных средств [15,17].

Эксплуатационные свойства АТС и их проектирование рассчитываются к некоторым средним условиям эксплуатации. В отличительных от расчетных условий эксплуатации уровень использования потенциальных свойств АТС снижается. При повышении температуры окружающей среды снижается мощность двигателя и, следовательно, изменяются режим движения и расход топлива АТС [9].

Топливная экономичность АТС в различных дорожно-климатических условиях зависит от совокупности свойств, обуславливающих расход топлива. Сложность оценки топливной экономичности АТС аналитическими методами при движении в реальных дорожных условиях определяется многофакторностью влияния на показатели работы двигателя условий жарко-сухого климата, в частности температуры окружающей среды [9].

Среди составляющих экономических показателей работы автомобиля стоимость топлива для двигателей может составлять до 40% всех затрат на его эксплуатацию. При выборе АТС решающее значение имеет его топливная экономичность. Поэтому снижение расхода топлива при разработке новых моделей или их модернизации является важнейшей задачей. Его экономическую составляющую можно уменьшить с использованием расчетных методов оценки расхода топлива [11].

Автотранспортные средства работают в самых разнообразных условиях, которые существенно влияют на внутренние и внешние сопротивления движению, на режимы движения, и как следствие, на их конструктивную эффективность и эффективность использования. Разработка рациональных методов выбора подвижного состава, учитывающих эти сложные и разнообразные условия эксплуатации, позволяет планировать рациональную структуру парка автотранспортных предприятий [9].

## 3. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА АТС В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

Исследуемые АТС осуществляют движения по типизированному участку дороги при различных

температурных условиях, но остальные условия (дорожные, транспортные) практически были идентичными. При этом фиксировались обобщенные показатели тягово-скоростных свойств (ТСС) и топливной экономичности (ТЭ) ( $v_{cp}$  и  $Q_{cp}$ ) [16].

В основу аналитической модели движения АТС по маршруту была принята модель разработанная в работе [9], однако в структуру дифференциального уравнения движения внесены соответствующие корректирующие зависимости, учитывающие изменения составляющих дифференциального уравнения под воздействием температуры окружающей среды.

Дифференциальное уравнение неустановившегося движения имеет следующий вид:

$$\frac{dv}{dt} m_{np} = a_i v^2 + b_i v + c_i \quad (1)$$

где  $m_{np} = m_a \delta_{\varphi p}$  - приведенная масса АТС.

$\delta_{\varphi p} = 1 + \frac{J_{\partial} U_{Ti}^2 \eta_T + \Sigma J_k}{m_a \cdot r_{\partial} r_k}$  - коэффициент учета вращающихся масс при разгоне на  $i$ -ой передаче;

$m_a$  - полная масса АТС;

$r_{\partial}$  - динамический радиус колеса;

$r_k$  - радиус качения колеса;

$J_{\partial}$  - момент инерции маховика;

$\Sigma J_k$  - суммарный момент инерции колес;

$U_{Ti}$  - общее передаточное число трансмиссии;

$\eta_T$  - коэффициент полезного действия (к.п.д.) трансмиссии.

В зависимости от дорожных условий коэффициент сопротивления качению в данной работе выражен в линейной функции в связи со скоростью движения  $f = f_0 + K_f v$ , что неоднократно получала положительную оценку в ранее проведенных исследованиях. Представленные в выражении (1) коэффициенты уравнения принимают следующий вид:

$$\begin{aligned} a_i &= A_i - K_b F, \\ b_i &= B_i - K_f G_a, \\ c_i &= C_i - f_0 G_a, \end{aligned} \quad (2)$$

где коэффициенты  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$  определяются по формулам:

$$\begin{aligned} A_i &= a_m \frac{U_{Ti}^3 \eta_{Ti} K_p K_T}{r_{\partial} \cdot r_k^2}, \\ B_i &= b_m \frac{U_{Ti}^2 \eta_{Ti} K_p K_T}{r_{\partial} \cdot r_k}, \\ C_i &= c_m \frac{U_{Ti} \eta_{Ti} K_p K_T}{r_k}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $K_p$  - коэффициент коррекций, учитывающий отличие работы двигателя на автомобилье от стендовых испытательных условий вследствие разной комплектации двигателя;  $K_T$  - коэффициент, учитывающий влияние температуры окружающей среды на скоростную характеристику двигателя.

Входящие в выражения (3) параметры, за исключением  $K_T$  можно принять достаточно не зависимыми от изменения  $T_{okp}$ .

Строго говоря, это утверждение является не совсем точно, так как и  $r_g$ , и  $r_k$ , и  $\eta_{Ti}$  будут несколько изменяться. Однако, как показали результаты количественного анализа, их можно не брать во внимание при решении задачи.

Изменение  $K_T$  учитывается для каждого моделируемого АТС через свою зависимость, точнее, параметром  $K_{TQ}$ :

$$K_T = 1 - K_{TQ} (T_{okp} - T_{cm}) \quad (4)$$

Входящие в выражение (1) параметры (за исключением  $G_a$ ) также получают свои числовые значения, скорректированные температурой  $T_{okp}$  по зависимостям, определенным экспериментально и описанным в работе 2.

Маршрут движения задается в виде дороги с последовательными участками определенных протяженностей и уклонов.

Время движения на участках определяется интегрированием дифференциального уравнения (1), причем за начальную скорость принимается конечная скорость движения на предыдущем участке. При моделировании учитываются помехи и ограничения скорости движения на маршруте.

При решении уравнения (1) необходимо иметь в виду более точно влияние аэродинамического сопротивления подкапотного пространства. Для учета этого влияния использована методика, предложенная в работе 1.

Путевой расход топлива на каждом участке и по всему маршруту в целом рассчитывается исходя из полученной на предыдущем этапе скорости движения. При полном включении мощности двигателя на участке

длиной  $S_i$  и при изменении скорости от  $v_n$  до  $v_k$  расход топлива определяется по формуле:

$$Q_r = a_Q m_a \delta_{\text{ади}} \left[ \left( \frac{v_e - v_H}{a_i} - \frac{b_i}{2a_i} \ln \left| \frac{a_i v_e^2 + b_i v_e + c_i}{a_i v_H^2 + b_i v_H + c_i} \right| \right) \right] + \\ + \tau_i \left( C_{Qc} + a_{Qc} \frac{b_i^2 + 2a_i c_i}{2a_i^2} \right) + b_{Qc} S_i, \quad (5)$$

где  $\tau_i$  - время прохождения  $i$ -го участка длиной  $S_i$ ;  $a_{Qc}$ ,  $b_{Qc}$ ,  $c_{Qc}$  - коэффициент уравнения секундного расхода топлива

$$a_{Qc} = \frac{a_Q U_i^2}{3600 r_k^2}; \quad b_{Qc} = \frac{b_Q U_i}{3600 r_k}; \quad c_{Qc} = \frac{c_Q}{3600}; \quad (6)$$

Коэффициенты  $a_Q$ ,  $b_Q$ ,  $c_Q$  определяются в зависимости часового расхода топлива, аппроксимированной полиномом второй степени:

$$Q_0 = a_Q w_e^2 + b_Q w_e + c_Q. \quad (7)$$

Как было показано в уравнении (4), изменение часового расхода топлива связано с температурой двигателей и может быть учтено коэффициентом  $K_{TQ}$ , являющимся линейной зависимостью от  $T_{окр}$

$$K_Q = 1 - K_{TQ} (T_{окр} - T_{cm}) \quad (8)$$

При равномерном движении АТС расход топлива определяется по формуле

$$Q_i = (a_{Qc} v \tau^2 + b_{Qc} v \tau + c_{Qc}) \tau_i K_Q, \quad (9)$$

где  $K_Q = Q_i / Q_0$  - отношение между расходом топлива при частичной и полной нагрузке.

Зависимость  $K_Q = f(K_u)$  аппроксимируется уравнением квадратного трехчлена, принимающего следующий вид:

$$K_Q = a_{ku} K_u^2 + b_{ku} K_u + c_{ku}, \quad (10)$$

где:  $K_u$  - коэффициент использования мощности двигателя;

Моделирование процесса движения осуществляется по достаточно сложному алгоритму. Программа моделирования состоит из основной программы и четырех подпрограмм.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты расчетных исследований о влиянии температуры окружающей среды на обобщенные показатели ТСС и ТЭ иллюстрируются на примере автопоезда КамАЗ-54112+ОдАЗ-9385 и представлены на рис.1.

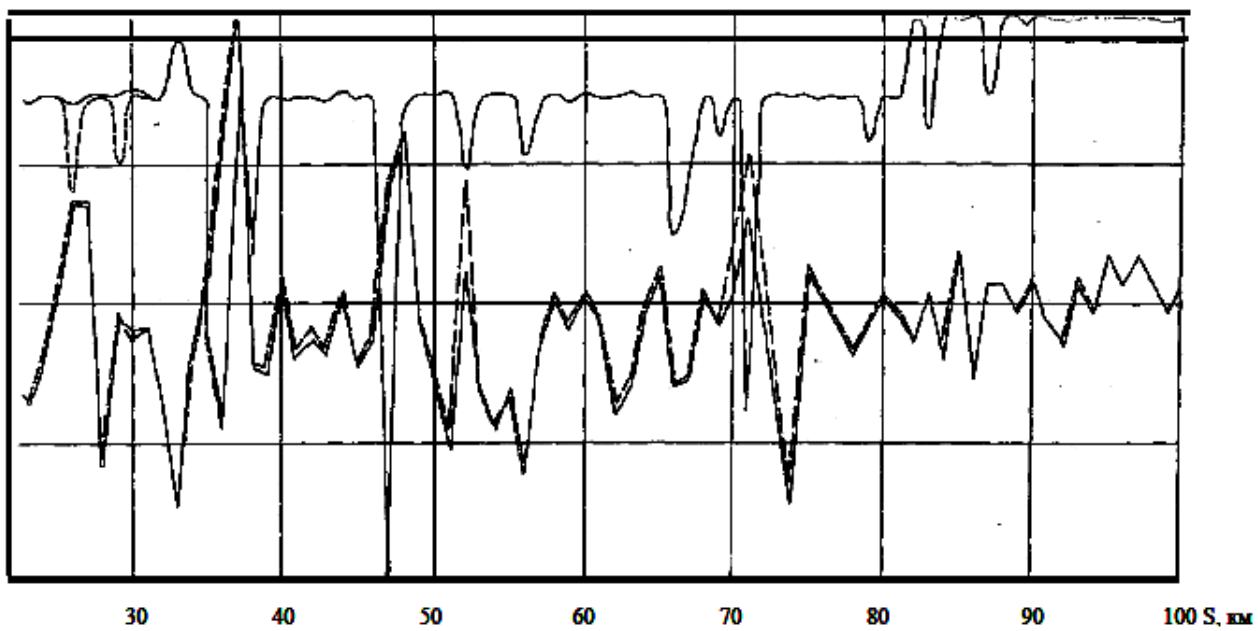


Рис. 1. Скоростной режим и расход топлива автопоезда КамАЗ-54112-ОдАЗ-9385 при моделировании движения на ПК (маршрут «Ташкент-Джизак»)

$$\gamma=1; \quad K_e=0,6; \quad — T_{окр} = 25^{\circ}\text{C}; \quad - - - T_{окр} = 43^{\circ}\text{C}$$

Как видно из графика, при повышении температуры окружающей среды расход топлива увеличивается, а средняя скорость уменьшается. Для выявления причин такого влияния проанализированы режимы движения автопоезда.

Анализ режимов движения (рис.2, 3) показал, что при повышении температуры окружающей среды от

+25°C до +43°C уменьшается путь, пройденный на высшей ступени коробки передач (К.П.) Причиной использования более низких ступеней К.П. является изменение режимов работы двигателя и следовательно в дальнейшем увеличение расхода топлива.

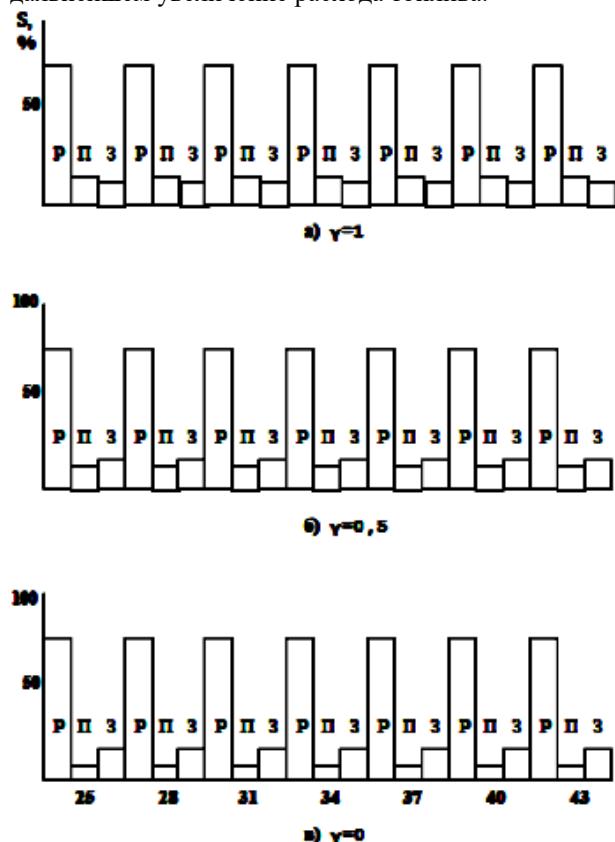


Рис.2. Гистограмма распределения пути автопоезда КамАЗ-54112-ОдАЗ-9385 в режимах: Р – разгон; П – установившаяся скорость; З – замедление

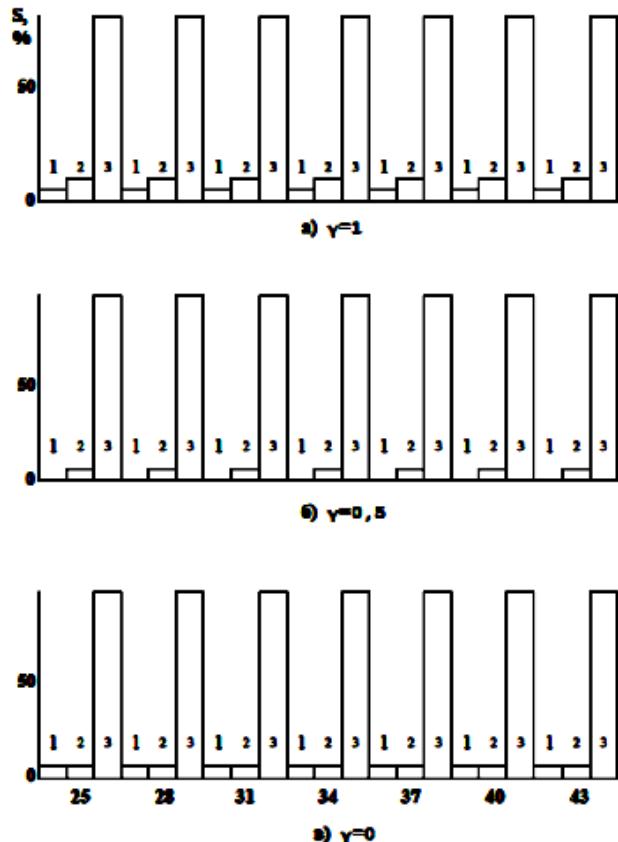


Рис.3. Гистограмма распределения пути автопоезда КамАЗ-54112-ОдАЗ-9385 на III (1), IV (2) и V (3) ступенях К.П.

Анализ режимов движения (рис.4...6) позволяет утверждать, что повышение температуры окружающей среды значительно снижает крутящий момент двигателя.

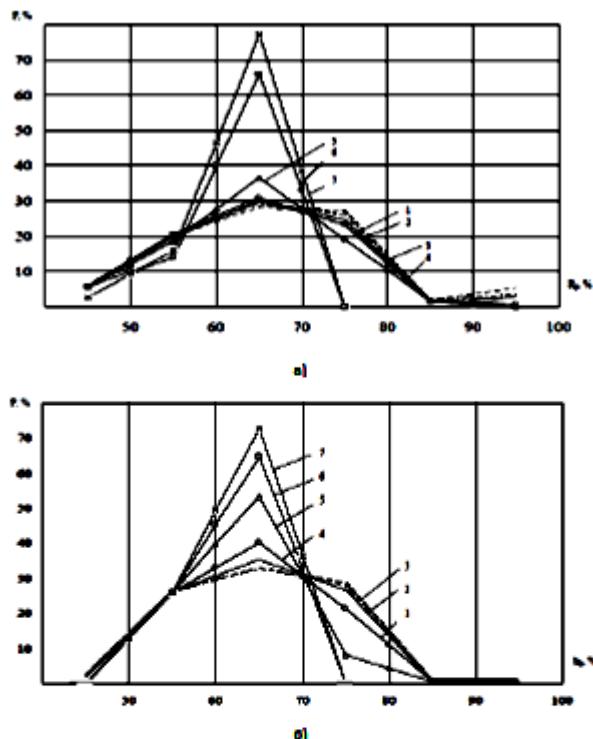


Рис. 4. Кривые распределения режимов работы двигателя при движении автопоезда на маршруте «Ташкент-Джизак» (положение рейки ТНВД): а)  $\gamma = 1$ ; б)  $\gamma = 0,5$ ; в)  $\gamma = 0$ . Соответственно 1 - 25°C; 2 - 28°C; 3 - 31°C; 4 - 34°C; 5 - 37°C; 6 - 40°C; 7 - 43°C.

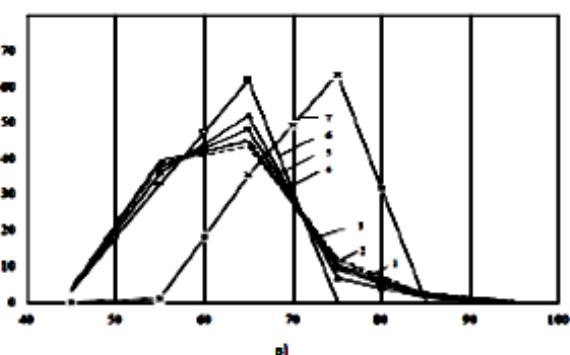
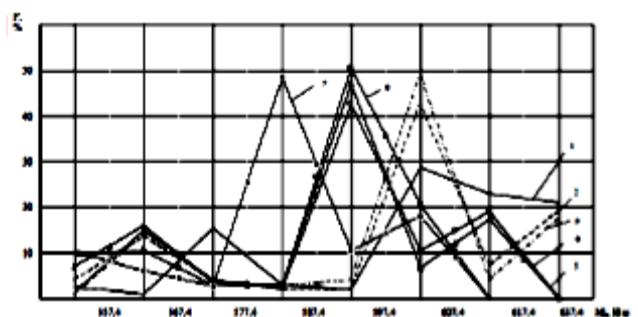


Рис. 5. Кривые распределения режимов работы двигателя при движении автопоезда на маршруте «Ташкент-Джизак» (положение рейки ТНВД): а)  $\gamma = 1$ ; б)  $\gamma = 0,5$ ; в)  $\gamma = 0$ . Соответственно 1 - 25°C; 2 - 28°C; 3 - 31°C; 4 - 34°C; 5 - 37°C; 6 - 40°C; 7 - 43°C.

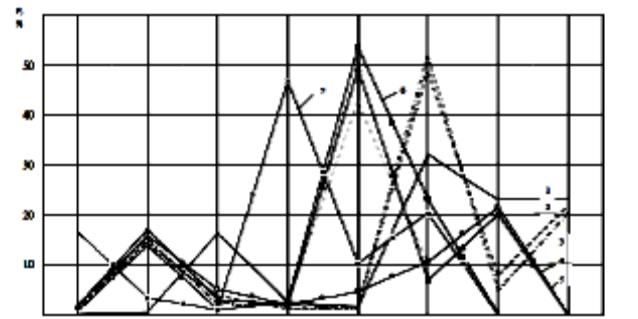


Рис. 6. Кривые распределения режимов работы двигателя при движении автопоезда на маршруте «Ташкент-Джизак» (положение рейки ТНВД): а)  $\gamma = 1$ ; б)  $\gamma = 0,5$ ; в)  $\gamma = 0$ . Соответственно 1 - 25°C; 2 - 28°C; 3 - 31°C; 4 - 34°C; 5 - 37°C; 6 - 40°C; 7 - 43°C.

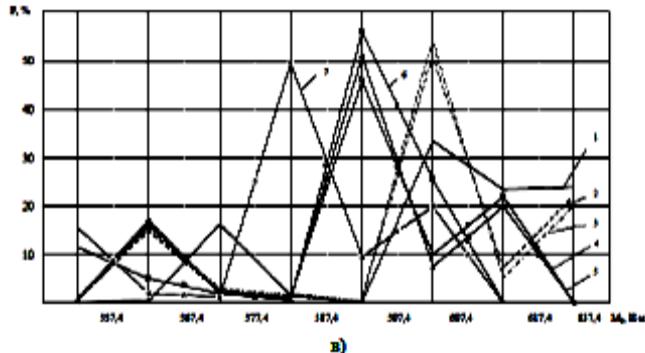
Кривые распределения крутящего момента показывают, повышение рост температуры окружающей среды приводит к изменению характера этого распределения, а при различных весовых состояниях автопоезда имеет одинаковый характер. С повышением температуры окружающей среды значения распределения смещаются в сторону малых значений крутящего момента.



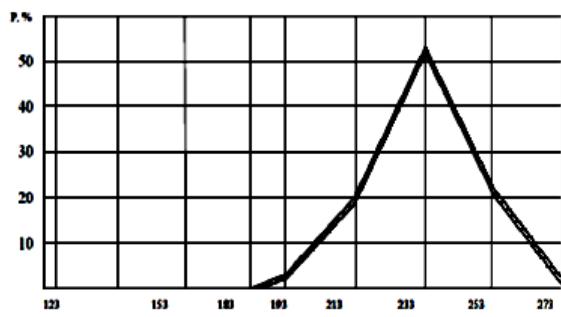
a)



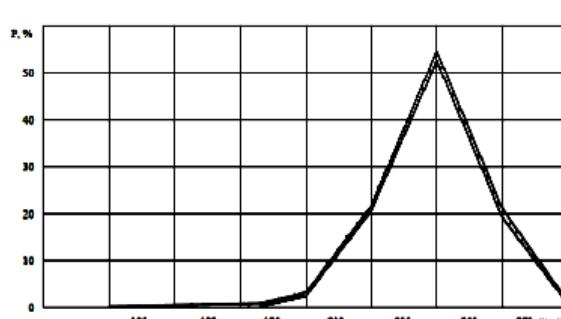
б)



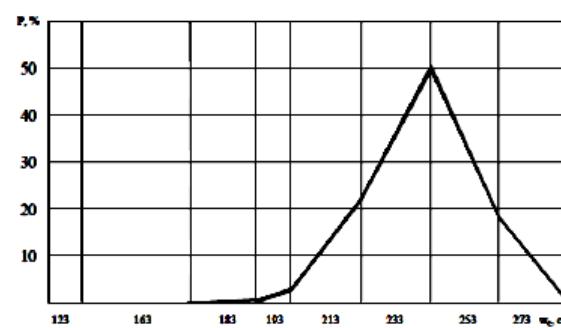
в)



а)



б)



в)

Рис.5. Кривые распределения режимов работы двигателя при движении автопоезда на маршруте «Ташкент - Джизак» (крутящий момент):  
а)  $\gamma = 1$ ; б)  $\gamma = 0,5$ ; в)  $\gamma = 0$ .  
1...7 то же, что и на рис.4

В пределах изменения температуры окружающей среды  $T_{окр}$  -  $+25^{\circ}\text{C} \dots +35^{\circ}\text{C}$  значения крутящего момента находились в диапазоне в пределах от 593,4 до 607,4 Н<sub>м</sub>, а при  $T_{окр}$  -  $+35^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$  – в диапазоне от 580,4 до 597,4 Н<sub>м</sub> и при  $T_{окр}$  -  $+40^{\circ}\text{C} \dots +43^{\circ}\text{C}$  – в диапазоне от 577,4 до 587,4 Н<sub>м</sub>.

Снижение крутящего момента двигателя приводит к тому, что преодоление силы сопротивления движению на одной и той же ступени к.п. при различных температурах окружающей среды становится невозможным и происходит включение более низких ступеней К.П., а также изменяется положение органа управления подачей топлива в сторону максимальных значений.

Таким образом, изменение расхода топлива при возрастании температуры окружающей среды является следствием сложного взаимодействия двигателя и трансмиссии автопоезда.

Анализ графика (рис.7) показывает, что влияние  $T_{окр}$  на  $Q_s$ ,  $v_{a, cp}$  растет с нарастанием полной массы автопоезда. При номинальной грузоподъемности ( $\gamma=1$ ) автопоезда повышение  $T_{окр}$  от  $+25^{\circ}\text{C}$  до  $+43^{\circ}\text{C}$  приводит к увеличению расхода топлива на 9%. Для автопоезда с  $\gamma=0,5$  и  $\gamma=0$  эти данные составляют соответственно 7 и 3%.

Как видно из графика (рис.7), значения скорости при  $\gamma=0,5$  и  $\gamma=0$  значительно выше, чем при  $\gamma=1$ . Это объясняется тем, что скорость автопоезда в первых двух случаях ограничивается дорожными знаками и допустимыми значениями скорости, а у автопоезда с полной нагрузкой скорость ограничивается его тягово-

Рис.6. Кривые распределения режимов работы двигателя при движении автопоезда на маршруте «Ташкент - Джизак» (угловая скорость коленчатого вала): а)  $\gamma = 1$ ; б)  $\gamma = 0,5$ ; в)  $\gamma = 0$ .  
 $T_{окр} = 25^{\circ}\text{C} \dots 43^{\circ}\text{C}$ .

скоростными свойствами и дорожными условиями. При этом автопоезд не всегда достигает допустимой скорости по ПДД.

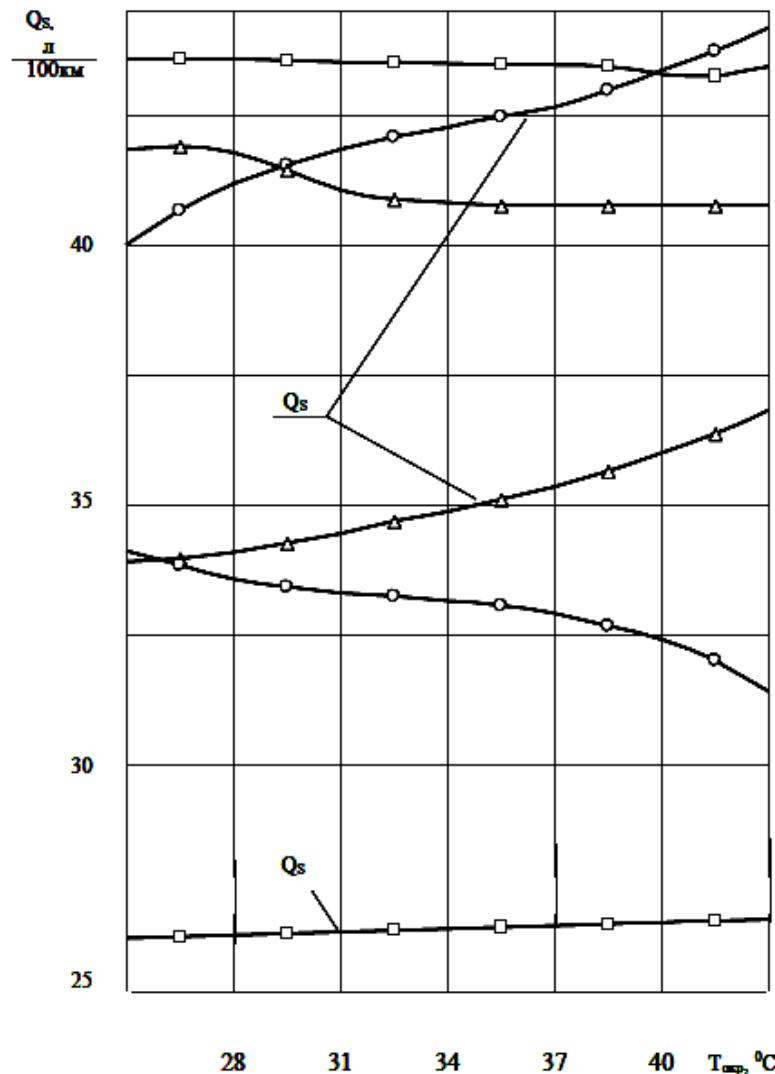


Рис. 7. Зависимость расхода топлива и средней скорости автопоезда от температуры окружающей среды при:  $K_u = 0,6$ ;  $\gamma = 1$  (- о -);  $\gamma = 0,5$  (- Δ -);  $\gamma = 0$  (- □ -)

## 5. ВЫВОДЫ

Увеличение расхода топлива и снижение скорости движения во всех весовых состояниях автомобилей происходит по мере повышения температуры окружающей среды, влияние которого ослабевает с уменьшением массы автопоезда, что свидетельствует об особой значимости изысканий по поиску способов для снижения сил сопротивления движению автопоездов, эксплуатируемых в условиях сухого жаркого климата.

Для моделирования режимов движения автопоезда и определения расхода топлива на реальном маршруте необходима проверка адекватности расчетных методов. В данном случае такая проверка может быть осуществлена сопоставлением расчетных данных с результатами испытаний по установлению режимов движения и расхода топлива автопоезда [9].

Математическое моделирование процесса движения грузового автомобиля на реальном маршруте с учетом температурных изменений окружающей среды позволяет определить степень приспособленности АТС по тягово-скоростным свойствам и топливной экономичности к изменяющимся условиям и использовать методику на стадии проектирования.

## 6. БИБЛИОГРАФИЯ

1. Bosch: Системы управления дизельными двигателями: пер. с нем. –М.: За рулем, 2004. -480с.
2. Вахидов У.Ш. Математическое описание дорог типа «stone-road» / Вахидов У.Ш., Макаров В.С., Беляков В.В. // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. - URL: [www.science-education.ru/103-6376](http://www.science-education.ru/103-6376).
3. С.В. Гусаков, В.А. Марков, Д.В. Михрячёв Расчетно-экспериментальная методика корректировки ездового цикла для фазы движения транспортного средства в городских условиях. Известия высших учебных заведений. -2012. №5.[In Russian: Gusakov, S.V. Markov, V.A. Mikhryachev, D.V. (2012) Calculation and experimental methodology for adjusting the driving cycle for the phase of vehicle movement in urban conditions/

*News of higher educational institutions. N0 5]*

4. Гусаков С.В., Афанасьева И.В., Мохсен А., Марков В.А. Топливная экономичность силовой установки автомобиля с электромеханической трансмиссией. Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10, Инновационная деятельность 2015. №1.
5. Гусаков С.В., Ощепков П.П. Сравнение испытательных ездовых циклов при оценке эксплуатационного расхода топлива двигателями легковых автомобилей. Журнал автомобильных инженеров. -2016. №1.
6. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей / Л.В.Грехов, Н.А. Иващенко, В.А.Марков. М.: Легион-Автодата, 2005. -344с.
7. Загарин Д.А., Кульмухамедов Д.Р. Определения влияния температуры окружающей среды на скорстную характеристику двигателя. Сборник материалов международного научно-технического семинара «Глобальное партнерство-как условие и гарантия устойчивого развития», ТИПСЭАД Ташкент 22-23 октября 2019 г.
8. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей / А.Р.Кульчицкий. – Владимир: Изд-во Владимирского гос. Универ., 2000. -256с.
9. Кульмухамедов Д.Р. Научные основы повышения эффективности автотранспортных средств в условиях жарко-сухого климата. Монография. Ташкент: «Тафаккур қаноти». 2018. - 304с.
10. Макаров В.С. Математическая модель поверхности дорожно-грунтовых оснований, насыщенных характерными повторяющимися дискретными препятствиями / Макаров В.С. [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. - URL: [www.science-education.ru/111-10472](http://www.science-education.ru/111-10472).
11. Огороднов С.М., Тихомиров А.Н., Малеев С.И. Оценка возможности использования аналитических методов при исследовании топливной экономичности автомобилей. // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2015. – №2. – С. 53-62
12. Огороднов С.М. Обоснование методов решения задачи оценки усталостной долговечности деталей и узлов подвески автомобилей / Огороднов С.М. [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4.
13. Огороднов С.М., Зезюлин Д.В., Макаров В.С., Малеев С.И. Разработка расчетно-экспериментальной методики оценки расхода топлива при движении автомобиля по заданному маршруту // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4.;
14. Щитов С.В., Кривуца З.Ф. Влияние внешних факторов на топливную экономичность автомобиля при транспортно-технологическом обеспечении АПК. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. -№9. – С. 111-117.
15. Щитов С.В., Кривуца З.Ф. Снижение энергозатрат на транспортных работах за счет оптимизации скорости движения // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2012. — № 5. — С. 114-117.
16. Kulmukhamedov J. R., Khikmatov R. S., Erbekov Sh. I., Saidumarov A. R., Kulmukhamedova Y. J. Justification of the methodology for the formation of the structure and characteristics of the trunk routes driving cycle of trucks in a hot – dry climate. European Science Review № 9 -10 September – Oktober Vienna., 2019.
17. Shitov S.V., Krivytca Z.F. Assessment of transport and technological support cropping // Science, Technology and Higher Education: materials of the international research and practice conference, Vol. I, Westwood, December 11th-12th, 2012 / Publishing Office Accent Graphics Communications — Westwood — Canada, 2012. — ISBN 978-1-927480-38-0 — 522-529 p.
18. Zezyulin D. Modeling Of Roads Impacts For Life Prediction Of Light Commercial Vehicles Parts / Zezyulin D., Makarov V., Belyaev A., S. Ogorodnov, V. Belyakov // FISITA 2014 World Automotive Congress, the Netherlands, Maastricht, 2-6 June - F2014-LWS-040. - URL: <http://www.fisita2014.com/test/programme/sessions/F2014-LWS-040>.
19. Zezyulin, D. Methodology of Roadway Impacts Modeling to Predict the Fatigue Life of Vehicles / Zezyulin D., Makarov V., Ogorodnov S., Belyakov V. // Acta Technica Jaurinensis. – 2014. - Vol. 7, No. 3, pp. 267-279, DOI: 10.14513/actatechjaur.v7.n3.277.

## **IMPROVEMENT OF THE FUNCTIONING EFFICIENCY OF THE AUTOMOBILE ROAD COMPLEX OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

**Akmal Anvarovich MUHITDINOV**, DSc, professor,  
Head of the Department of "Vehicles" of the Tashkent Institute of Design, Construction & Maintenance of Automotive Roads

20, ave A.Timur, 100060, Tashkent, Uzbekistan

Tel.: +998712321439

E-mail: devonxona@tayi.uz

**Aziz Suratovich KHALMUKHAMEDOV\***, DSc, Associate Professor,  
Chief Specialist, "Yo'l loyiha ekspertiza" UE

5, Katta Darhon str., 100052, Tashkent, Uzbekistan.

Tel.: +998(71)286-19-03

\*E-mail: ekspertiza@uzavtoyl.uz

**Abstract.** The automobile road complex (ADC) is a complex technical and economic system that includes vehicles (automobile transport) and communications (automobile roads), united by a common goal - to constantly carry out safe transportation of goods and people with maximum efficiency. The influence of the degree of evenness of the road surface on the technical and operational indicators of the operation of vehicles is shown. The condition of roads and technical and economic performance indicators of road transport are estimated. The influence of the evenness of the road surface on traffic safety is given. The effect of the evenness of the road surface on air pollution by the automobile-road complex is presented.

**Keywords:** Automobile road complex, automobile transport, automobile roads, roughness of the road surface, technical and operational performance indicators of automobile transport, road safety, air pollution by the automobile road complex.

## **O'ZBEKİSTON RESPUBLİKASI AVTOMOBİL YO'LLARI KOMPLEKSİNİNG FOYDALANISH TİZİMİNİ TAKOMILLASHTIRISH**

**Акмал Анварович МУХИТДИНОВ**, т.ф.д., профессор,

Тошкент автомобиль йўлларни лойиҳалаш, қуриш ва эксплуатация институти Транспорт воситалари кафедрасини мудири

100060, Ўзбекистон, Тошкент ш., А.Тимур шоҳ кўч., 20

Тел.: +998(71)232-14-39

E-mail: devonxona@tayi.uz

**Азиз Суратович ХАЛМУХАМЕДОВ**, т.ф.д..доцент,

Бош мутахассис, УК "Йўл лойиҳа экспертиза"

100052, Ўзбекистон, Тошкент, Катта Дархон кўч., 5

Тел.: +998(71)286-19-03

E-mail: ekspertiza@uzavtoyl.uz

**Аннотация.** Автойўл комплекси (АЙК) - транспорт воситалари (автотранспорт) ва коммуникация (автомобил йўллари) ни ўз ичига олган, ягона мақсадда бирлашган - юкларни ва одамларни доимо хавфсиз ташишни амалга ошириш учун мўлжалланган мураккаб техник-иқтисодий тизим. Йўл қопламаси равонлиги транспорт воситаларининг техник - эксплуатацион кўрсаткичлари таъсири кўрсатилган. Йўлларнинг ҳолати ва автомобил транспортининг техник-иқтисодий кўрсаткичлари баҳоланган. Йўл равонлигининг ҳаракатланиш хавфсизлигига таъсири кўрсатилган. Автойўл комплексида йўл равонлигининг атроф-муҳит заарланишига таъсири келтирилган.

**Калит сўзлар:** автойўл комплекси, автомобиль транспорти, автомобиль йўллари, йўл қопламасининг равонлиги, автомобиль транспортининг техник-эксплуатацион кўрсаткичлари, йўл ҳаракат хавфсизлиги, автойўл комплекси томонидан атроф-муҳит заарланиши.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**Акмал Анварович МУХИТДИНОВ**, д.т.н., профессор,

Заведующий кафедры "Транспортные средства" Ташкентского института по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог

100060, Узбекистан, Ташкент, пр. А.Тимура, 20

Тел.: +998(71)232-14-39

E-mail: devonxona@tayi.uz

**Азиз Суратович ХАЛМУХАМЕДОВ\***, д.т.н..доцент,  
Главный специалист, УП “Йул лойиха экспертиза”  
100052, Узбекистан, Ташкент, ул. Катта Дархон, 5.  
Тел.: +998(71)286-19-03  
\*E-mail: ekspertiza@uzavtoyul.uz

**Аннотация.** Автодорожный комплекс (АДК) - сложная технико-экономическая система, включающая транспортные средства (автомобильный транспорт) и коммуникации (автомобильные дороги), объединенные единой целью - постоянно осуществлять безопасные перевозки грузов и людей с максимальной эффективностью. Показано влияние степени ровности дорожного покрытия на технико-эксплуатационные показатели работы автотранспорта. Оценено состояние дорог и технико-экономические показатели работы автомобильного транспорта. Приведено влияние ровности дорожного покрытия на безопасность движения. Приведено влияние ровности дорожного покрытия на загрязнение воздуха автомобильно-дорожным комплексом.

**Ключевые слова:** автодорожный комплекс, автомобильный транспорт, автомобильные дороги, ровность дорожного покрытия, технико-эксплуатационные показатели работы автомобильного транспорта, безопасность дорожного движения, загрязнение воздуха автомобильно-дорожным комплексом.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Автодорожный комплекс (АДК) - сложная технико-экономическая система, включающая транспортные средства (автомобильный транспорт) и коммуникации (автомобильные дороги), объединенные единой целью - постоянно осуществлять безопасные перевозки грузов и людей с максимальной эффективностью. Термин «АДК» [1] более объективно отражает сущность эффективного перевозочного процесса, осуществляющего транспортными средствами по автомобильным дорогам. Он подчеркивает равнозначность вклада транспортных средств и дорог в единый перевозочный процесс. Проблема эффективности функционирования АДК имеет не только терминологический смысл, она затрагивает вопросы повышения эффективности работы автомобильного и дорожного хозяйства в целом.

## 2. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

Актуальность темы состоит в необходимости устранения существующей негативной тенденции: перевозчики постоянно требуют хороших дорог (они позиционируют себя «главными» в этом процессе), хотя объективно они же и разрушают их с нарастающей интенсивностью (например, увеличение осевых нагрузок до 13-14 т), не внося почти никакой компенсации на ремонт и содержание дорожной сети. Однозначно утверждается, что даже незначительная перегрузка не проходит без последствий для состояния дорожного покрытия, а большая перегрузка представляет серьезную опасность для потребительских качеств покрытия, способствуя его ускоренному разрушению и снижению безопасности. Поэтому в разных странах применяются различные методы предотвращения нанесения ущерба автомобильным дорогам автотранспортом с высокой нагрузкой на ось. Среди них можно выделить основные: взимание сборов, ограничение скорости движения грузовых транспортных средств, запрет на движение тяжеловесных крупногабаритных транспортных средств, введение сезонных весенних и летних ограничений движения.

Такая ситуация непосредственно сказывается на финансировании дорожных работ. Действительно, в настоящее время автомобильные перевозки финансируются на основе хозрасчета, а затраты дорожников - из государственного бюджета (которого, как правило, не хватает). Здесь ощущается явный экономический дисбаланс, хотя давно стало очевидным: кто едет по дорогам - тот и платит. На этом принципе, кстати, основаны все системы оказания перевозочных услуг на всех существующих видах транспорта.

Экономическая эффективность функционирования АДК в макроэкономическом смысле определяется величиной необходимых затрат и той прибыли, которую получают субъекты хозяйствования транспортников и дорожников. Соответственно процесс снижения затрат при эффективном функционировании АДК составляет основу оптимальной эффективной работы данного комплекса в целом [2, 3].

Таким образом, поскольку обобществленной продукцией АДК является оптимальный автоперевозочный процесс (грузо- и пассажироперевозки), прослеживается необходимость решать проблему повышения его эффективности путем рационального совместного использования основных фондов, пока принадлежащих отдельно транспортным средствам и автомобильным дорогам. Эффективное функционирование экономики государства жестко зависит от наличия развитой и надежно функционирующей сети автомобильных дорог. Чем больше плотность и выше качество сети автодорог, тем богаче страна. Дорожное хозяйство нуждается в соответствующем финансировании, и вопрос сводится к тому, какую долю ВВП общество может для этого выделить. Страны с развитой экономикой, которые в основном завершили создание национальной сети дорог, продолжают вкладывать средства в дорожное хозяйство, что стимулирует развитие отраслей промышленности, сельского хозяйства, торговли и др. Каждое рабочее место в дорожной отрасли дает возможность организовать до 20 рабочих мест в смежных отраслях. Вложенные государственные средства в дорожное хозяйство значительно увеличивают поступления в бюджет страны и дают возможность заработать сотням тысяч граждан [4].

Развитие и эффективное функционирование промышленного производства, строительства, торговли, сферы услуг, сельского хозяйства возможны лишь при сбалансированном, комплексном развитии АДК страны. Основная цель - доставка продукции различных отраслей промышленного производства, сырья и полуфабрикатов, а также удовлетворение потребности населения в пространственном перемещении. Результатом деятельности АДК является услуга, в результате которой меняется пространственное положение товара. В промышленном производстве, торговле, сфере услуг при перемещении увеличивается стоимость перевозимого груза, так как осуществление транспортирования сопряжено с затратами материально-технических ресурсов, включая улучшение транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог.



Рис. 1. Воздействие улучшения дорожных условий на экономику и социальную сферу страны

Функционирование АДК неразрывно сопряжено с деятельностью автомобильного транспорта и дорожной инфраструктуры. Взаимодействие этих двух компонентов единой экономической системы определяется техническими характеристиками автомобильного транспорта и транспортно-эксплуатационными показателями автомобильных дорог. От технического уровня и эксплуатационного состояния автомобильной дороги существенно зависят скорость транспортных потоков, пропускная способность, безопасность движения и экология придорожного пространства. С увеличением технической скорости возрастает производительность автомобильного транспорта при неизменной сумме постоянных расходов, что позволяет снизить себестоимость автомобильных перевозок, приходящихся на 1 т/км.

В условиях формирования рыночных механизмов хозяйствования развитие методов оптимальной организации управления функционированием АДК является важной задачей народного хозяйства страны. В последние годы направлены на выработку оптимальной организации и управления эксплуатацией автомобильными дорогами, что связано с рядом объективных и субъективных причин. К субъективным можно отнести причины, связанные с необходимостью сохранения существующей сети автомобильных дорог в условиях катастрофической нехватки финансовых ресурсов, к объективным - возрастание внимания к вопросам содержания автомобильных дорог. По мере формирования дорожной сети во всех развитых и развивающихся странах мира большое значение приобретают аспекты ремонта и содержания автомобильных дорог, т. е. поддержание и доведение транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог до требований, удовлетворяющих потребности пользователей в удобном, беспрепятственном, безопасном и экономичном передвижении с нормативными скоростями и нагрузками [2, 5].

Потребительские свойства автомобильных дорог находятся в прямой зависимости от их транспортно-эксплуатационного состояния, которое характеризуется показателями технического уровня и эксплуатационного состояния автомобильной дороги. Основываясь на этом, выполнение исследований по совершенствованию, развитию и внедрению интенсивных ресурсосберегающих технологий управления состоянием покрытия автомобильных дорог приводит к необходимости решения комплекса взаимосвязанных проблем. С позиций системного анализа в рассмотрении АДК структурная схема оптимального управления состоянием транспортно-экономических показателей (ТЭП) состоит из ряда взаимосвязанных задач:

- социальной потребности в АДК;
- финансово-экономических возможностей создания АДК;
- управления состоянием АДК (экономико-статистические модели управления);
- соотношения получаемого результата с поставленными задачами.

Для обеспечения состояния дорог, отвечающего требованиям как современного, так и перспективного автомобильного движения, требуется дальнейший рост капиталовложений, включая инвестиции. Рациональное научно обоснованное их расходование представляет важную народно-хозяйственную задачу.

Практическая реализация состоит в выработке методов и научной обоснованности показателей оценки, составляющих основу комплексного подхода к выбору ремонтной стратегии, позволяющей прогнозировать потенциально возможные изменения ТЭП дороги на различных этапах службы в конкретных для рассматриваемой автомобильной дороги изменяющихся условиях эксплуатации, а следовательно, принимать адекватные управленческие решения. Это дает возможность расширить совершенствование управления дорожно-ремонтным комплексом на стадии планирования дорожных работ при обосновании потребности необходимых средств и распределении их во времени для оценки выработанных технических решений по назначению видов дорожных работ с позиций экономической обоснованности [6, 7].

На данный момент нет законодательно утвержденного нормативного документа, позволяющего рассчитать экономическую эффективность отраслей экономики в зависимости от развития сети автомобильных дорог и выполнения дорожных работ.

В условиях ограниченных ресурсов на ремонт сети автомобильных дорог планирование этих работ существенно усложняется, а ответственность за принимаемые решения возрастает. Поэтому постановка задачи о приведении транспортно-эксплуатационного состояния одновременно всей дорожной сети в соответствие с нормативными требованиями невозможна. В результате этого выработка методики планирования ремонтных работ заключается в том, чтобы обосновать наиболее рациональный набор дорог, участков и видов работ и получить максимальный экономический эффект у пользователей. В данном случае необходимо исправить в первую очередь те параметры или участки дорог, которые способствуют наибольшему снижению транспортных издержек, не допуская значительных дополнительных затрат из-за невыполнения или недоремонта автомобильных дорог [8].

Объективная оценка эффективности проведения ремонтных мероприятий связана с оценкой комплекса технических и экономических показателей, отражающих требуемые нормативы по обеспечению: скорости и безопасности движения по дороге, прочности дорожного покрытия и искусственных сооружений, оптимальной себестоимости перевозок, обоснованных затрат на ремонт и содержание дорог.

Количественная оценка необходимых затрат на воспроизведение автомобильной дороги объективно определяет потребность в финансовых и материально-технических ресурсах. На основе этого выполняется количественный анализ эффективности затрат на воспроизведение автомобильной дороги как объекта хозяйственной деятельности. Управление состоянием сети автомобильных дорог сводится к определению набора регулирующих воздействий на дорожные условия, которые позволяют минимизировать издержки в автотранспортном комплексе. Таким регулирующим воздействием служат выработка и реализация наиболее эффективных ремонтных мероприятий. Цель достигается путем решения задачи обеспечения минимизации затрат на перевозки в автотранспортном комплексе при реализации наиболее эффективных ремонтных мероприятий на этапе жизненного цикла автомобильной дороги.

Полученный результат позволяет с максимальной эффективностью распределить имеющиеся ограниченные материально-технические ресурсы. Экономическая составляющая воздействия представляет собой функциональную оценку финансового эффекта от реализации принятого плана ремонта, сделанного на основе метода статистического моделирования функционирования автомобильной дороги. Финансовый эффект отклика есть сумма получаемых выгод в нетранспортной и транспортной сферах [5, 11, 12].

Экономический эффект в нетранспортной сфере связан с тем, что время транспортировки грузов органически связано с временем оборачиваемости средств. Скорость транспортировки, выступая как итоговая величина от технической скорости перемещения транспортных средств и организации движения товарных масс (объектов транспортировки), оказывает прямое влияние на абсолютную и относительную скорость оборачиваемости средств промышленных предприятий и торговых организаций. Повышение скорости оборота ведет к ускорению процесса расширенного воспроизводства.

Транспортный экономический эффект достигается за счет удовлетворения спроса на перевозки грузов и пассажиров, повышения их безопасности и качества, конкурентоспособности отечественных перевозчиков на внутреннем и внешнем рынках транспортных работ и услуг, создания условий для финансового оздоровления предприятий транспорта посредством инвестиционной активности [13, 14].

Опыт показывает, что эффективность экономики государства зависит от качества автомобильных дорог, одним из важных показателей которого является их ровность, определяющая возможно допустимую скорость движения транспортных средств, а также связанную с ней безопасность движения и стоимость перевозок. При этом в комплексном решении проблемы снижения стоимости перевозок по автомобильным дорогам играют не только затраты на ремонт и содержание самих автомобильных дорог, но и затраты на организацию безопасности движения, ремонт и содержание самих транспортных средств, т. е. непосредственно потребителей коммуникационных услуг.

В результате анализа литературных источников был приобретен объем научной информации о закономерностях формирования требуемых дорожных затрат для получения наибольшего транспортно-экономического эффекта и эффективности перевозок у потребителей. Вместе с тем имеющиеся исследования по

проблеме снижения стоимости автомобильных перевозок, отражающие взаимосвязь параметров в системе «автомобиль - дорога», выполнены не в полной мере. Отсутствует комплексное исследование влияния условий эксплуатации дороги на техническую скорость грузовых автомобилей разных марок при решении задач оперативного планирования перевозок, а также при оценке влияния ровности дороги IRI на стоимость автомобильных перевозок.

Анализ предприятиями различных отраслей промышленности влияния индекса IRI на экономику автомобильных перевозок показал, что эти перевозки нуждаются в комплексных исследованиях технических и экономических вопросов. При этом в качестве единого интегрального параметра может быть выбрана полная стоимость автомобильных перевозок, зависящая от ровности дорожных покрытий и непосредственно связанных с ней рациональных скоростей движения грузового транспорта.

Необходимо разработать новый подход к оценке качества участка автомобильной дороги, включающий метод динамического моделирования транспортных нагрузок на основе вероятностно-статистической оценки влияния таких факторов, как ровность дороги, параметры движущихся машин и установившаяся скорость движения транспортных средств. Именно эти факторы являются наиболее значимыми для повышения экономичности грузовых перевозок. Таким образом, целью исследования является разработка научно-практических рекомендаций по обоснованию требуемой ровности автомобильных дорог на основе технико-экономической оценки рациональных скоростей движения грузового транспорта. Поэтому для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать метод оценки динамического взаимодействия грузового автомобиля с дорогой на основе математической модели, учитывающей сглаживающую способность разнотипных шин и подвески, а также случайную неровность поверхности дороги;

- выбрать наиболее значимые факторы предложенной модели для оценки динамического взаимодействия грузового автомобиля с ровностью дороги на основе полного факторного эксперимента;

- определить влияние ровности автомобильной дороги в совокупности с другими факторами на технико-экономические показатели перевозки грузов;

- разработать экономико-математические модели влияния основных факторов на показатель полной стоимости грузовых автомобильных перевозок;

- обосновать требуемую ровность автомобильных дорог на основе экономической оценки рациональной скорости движения грузового транспорта и соответствующего уровня полной стоимости перевозки грузов;

- разработать рекомендации по определению планируемых и фактических затрат на перевозку грузов с учетом рациональной скорости движения грузовых автомобилей.

### **3. ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ РОВНОСТИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ НА ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ АВТОТРАНСПОРТА**

Техническое и эксплуатационное состояние автомобильных дорог, эффективность работы транспорта характеризуются, в целом АДК:

- эксплуатационными показателями, к которым относят годовой объем перевозок, интенсивность, состав и скорость движения, пропускная способность дороги, производительность автопоезда, себестоимость перевозки, удельные трудозатраты и др.;

- техническими показателями, определяющими состояние, ровность, шероховатость, сцепные качества, износостойкость и работоспособность дороги;

- показателями надежности, проезжаемости, безопасности движения, сроком службы и прочностью дорожной одежды.

Из всех перечисленных показателей важнейшим является ровность покрытия, от которого зависит скорость движения автопоездов по дороге, динамика воздействия колес подвижного состава на дорогу, расход топлива и смазочных материалов, себестоимость перевозки груза. Поэтому обеспечение ровности дорожного покрытия должно являться одной из наиболее главных задач дорожников-эксплуатационников.

Ровность дорожного покрытия оценивается локальным отклонением поверхности контакта колес автомобиля от геометрически идеальной плоскости. Однако в связи с тем, что неровности поверхности покрытия носят случайный характер, их обычно описывают осциллирующими гармоническими функциями и оценивают методами математической статистики. Для характеристики ровности дорожного покрытия используют международный показатель ровности индекс ровности IRI (табл. 1 и 2) [12, 13, 14], имеющий единицу измерения м/км.

Таблица 1

Нормативные требования к ровности различных категорий дорог по IRI

Страна, место использования показателя IRI	Характеристика ровности	Значение IRI, м/км
Международный эксперимент (Мировой банк, Бразилия, 1982 г.)	Взлетно-посадочные полосы в аэропортах и высокоскоростные автомобильные дороги	От 0,8 до 1,3
	Новые дорожные покрытия	От 1,3 до 3,3
	Эксплуатируемые автомобильные дороги	От 2,3 до 5,5
Бельгия, 1984 г.	Класс А. Очень хорошая ровность	До 2

Продолжение таблицы 1

	Класс В. Хорошая ровность	От 2 до 4
	Класс С. Хорошая ровность	От 4 до 6
	Класс Д. Плохая ровность	От 6 до 8
	Класс Е. Очень плохая ровность	Более 8
	Порог вмешательства	Более 6
Швеция, 1988 г.	Очень хорошая ровность	До 1,5
	Хорошая ровность	От 1,5 до 2,5
	Средняя ровность	От 2,5 до 3,5
	Удовлетворительная ровность	От 3,5 до 4,5
	Неудовлетворительная ровность	>4,5
Международный эксперимент FILTER (PIARC, Германия, 1998 г.)	Хорошая ровность	До 1,5
	Средняя ровность	От 1,5 до 3,5
	Плохая ровность	Более 3,5

Таблица 2

Требуемые значения ровности дорожного покрытия для автомобильных дорог

Категория автомобильной дороги	Предельно допустимые показатели IRI м/км	
	при приёмке в эксплуатацию	при эксплуатации
IA+IB	1,4-1,6	3,0
II	1,7-1,8	3,5
III	2,0	4,5-5,0
IV	2,6	5,0-5,5

Образование неровностей покрытий проездной части происходит в результате возникновения необратимых деформаций в слоях дорожной одежды; выбоин на покрытии (из-за усталостных явлений в слое покрытия и местного разрушения их в связи с плохим сцеплением вяжущего с каменным материалом) и из-за неравномерного износа покрытия.

По данным Р. В. Ротенберга [15] при эксплуатации автомобилей на дорогах с неровной поверхностью средняя скорость движения снижается на 40-50%, межремонтный пробег - на 34-40%, расход топлива увеличивается на 50-70%, производительность работы транспорта снижается на 32-36%, себестоимость перевозок возрастает на 50-60%. На неровной дороге динамическое воздействие на нее увеличивается в 1,5-3,0 раза.

Неровности приводят в колебательное состояние автомобиль. При колебаниях кузова 0,7-4,0 Гц пассажиры испытывают неприятное ощущение, а при 5-20 Гц создаются опасные ситуации [15].

В результате проведенных исследований выделены основные факторы, влияющие на ровность покрытия, и факторы, на которые влияет ровность покрытия (табл. 3).

Таблица 3

Основные факторы, влияющие на ровность покрытия, и факторы, на которые влияет ровность покрытия

Факторы	
влияющие на ровность покрытия	на которые влияет ровность покрытия
Прочность дорожной одежды	Скорость, утомляемость водителя
Прочность земляного полотна	Производительность
Тип покрытия	Себестоимость перевозок, экономический эффект
Качество проекта и материала	Износ шин, покрытия
Качество строительства и ремонта	Расход топлива
Климатические условия	Амортизация подвижного состава
Грунтово-гидрологические условия	Безопасность движения, комфорт движения
Интенсивность движения	Срок службы дороги, динамическое воздействие транспорта
Состав движения	Коэффициент прочности
Своевременность ремонта	Модуль упругости (деформации)

В результате проведенных исследований установлены закономерности изменения скорости движения автопоездов от степени ровности покрытия дорожных одежд; установлена интенсивность изменения скорости движения от состояния (повреждения) дорожного покрытия (рис. 2).

Так, при повреждении покрытия на 10% скорость движения (при расчетной скорости движения 16,7 м/с) составит 12,5 м/с (уменьшение на 25%), а при повреждении покрытия на 20% - 10 м/с (уменьшение на 40%), при повреждении покрытия на 50% скорость движения составит 6,25 м/с [15]. Производительность автомобилей при перевозке груза снижается на 45-50% в зависимости от категории дороги и типа покрытия.

Транспортная составляющая себестоимости перевозки груза прямо пропорциональна состоянию

автомобильных дорог. Не менее важными показателями являются дополнительные затраты мощности и расход топлива на преодоление неровностей. Также установлено, что указанные затраты зависят не только от высоты неровностей, но и от их длины.

Проведенные расчеты мощности, затрачиваемой на преодоление неровностей дорожного покрытия в зависимости от степени ровности и скорости движения, показывают, что с увеличением длины неровностей ее дополнительные затраты резко возрастают.

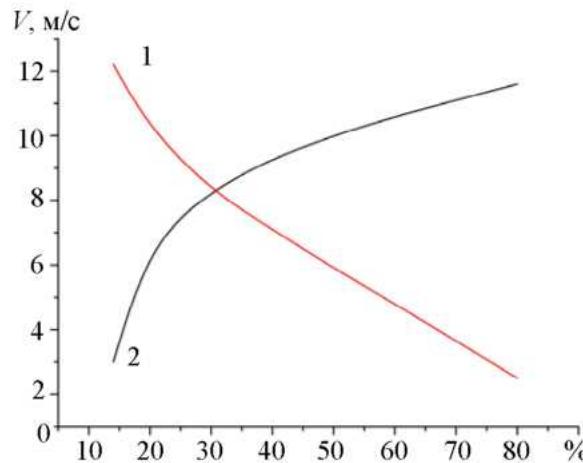


Рис. 2. Изменение скорости движения (1) и ее интенсивности (2) от процента повреждения дорожного покрытия [15]

#### 4. СОСТОЯНИЕ ДОРОГ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Многие годы, когда в транспортном потоке подавляющую часть составляли грузовые автомобили, основными технико-экономическими показателями работы автомобильного транспорта считали производительность автомобилей, себестоимость перевозок, расход топлива, износ шин и др.

Все эти показатели напрямую связаны с техническими параметрами и характеристиками дорог, такими как ширина проезжей части, продольные уклоны и радиусы кривых в плане, а также прочность дорожной одежды, ровность и сцепные качества покрытий и др.

В современных условиях, когда доля легковых автомобилей в составе транспортных потоков составляет 70...85 %, на первое место при оценке эффективности работы автомобильного транспорта на дороге выходят затраты времени на поездку пассажиров или перевозку грузов, которые непосредственно связаны со скоростью движения.

Расчеты показывают, что повышение скорости движения за счет улучшения состояния дороги дает существенную экономию времени на поездку или перевозку грузов до 20 тыс. авт.-ч и более на каждый километр улучшенной дороги [7, 8].

Одной из наиболее частых причин снижения скорости движения является ухудшение ровности покрытия (рис. 3) [2].

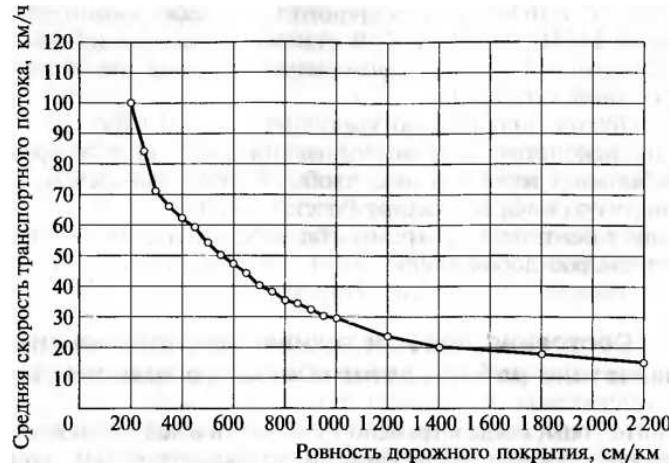


Рис. 3. Зависимость средней скорости транспортного потока от ровности дорожного покрытия

К этому нужно добавить время простоя в заторах из-за перегрузки дорог движением, перерывов движения во время метелей, снегопадов или запрещения проезда тяжеловесных автомобилей в весенний период из-за недостаточной прочности дорожных одежд.

Годовая производительность автомобиля также зависит от дорожных условий. От состояния дорожной сети во многом зависит время работы автомобиля на линии. При плохом состоянии сети автомобили часто

простаивают из-за поломок, снежных заносов на дорогах, ограничения проезда тяжелых автомобилей в весенний период по дорогам с недостаточной прочностью дорожной одежды или не могут быть использованы из-за недостаточной прочности мостов.

Фактическое число часов работы автомобиля в году может колебаться в пределах 1000...4000 ч, а годовая производительность автомобиля за счет изменения числа часов работы меняется в несколько раз. Значительно большее влияние на производительность автомобиля оказывает грузоподъемность и средняя скорость его движения. За счет увеличения грузоподъемности, например, с 3 до 10 т, производительность может быть увеличена более чем в 3 раза. За счет увеличения средней скорости движения с 30 до 90 км/ч производительность может быть увеличена почти в 2,4 раза [9].

Скорость движения зависит от геометрических параметров дороги, ровности и сцепных качеств дорожного покрытия и его состояния, инженерного оборудования дороги и организации движения, т.е. от уровня содержания дороги.

Эффективность работы автомобильного транспорта характеризуется себестоимостью перевозок.

Расчеты показывают [10], что себестоимость грузовых перевозок минимальна при средней скорости движения 60...80 км/ч. Если принять эту себестоимость за единицу, то с уменьшением средней скорости коэффициент увеличения себестоимости перевозок резко возрастает, особенно при скорости ниже 40 км/ч:

Таблица 4

Средняя скорость движения, км/ч	60...80	40...60	20...40	10...20
Коэффициент повышения стоимости перевозок	1,00	1,10	1,30	3,5

Большое влияние оказывает на расход топлива при движении автомобиля состояние дороги. При этом, чем выше скорость движения, тем больше увеличивается расход топлива при ухудшении ровности (рис. 4) [10].

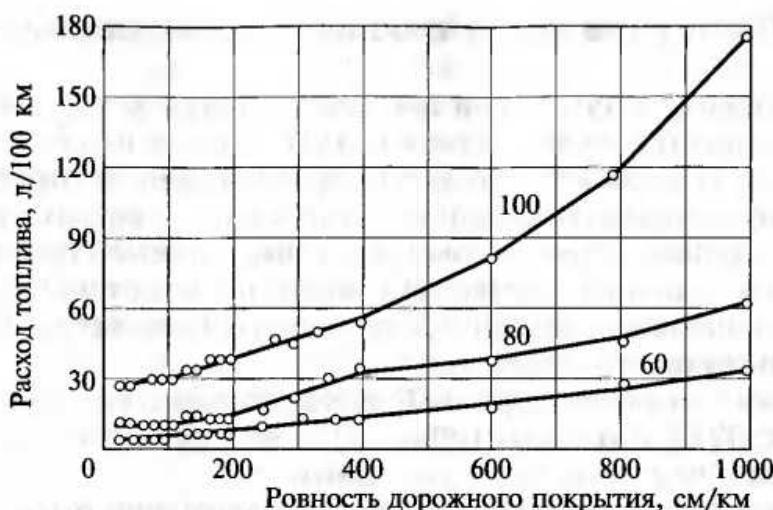


Рис. 4. Зависимость расхода топлива грузового автомобиля от ровности дорожного покрытия и скорости движения (цифры на кривых – средняя скорость движения грузового автомобиля, км/ч)

О влиянии состояния дорог на эффективность работы автомобилей свидетельствуют данные о стоимости содержания транспортных средств при работе автомобилей на дорогах с различной ровностью, полученные по материалам Европейского банка развития и реконструкции (ЕБРР) [14], где ровность покрытия приведена в международных единицах IRI, измеряемых в метрах на 1 км (м/км).

Из этих данных следует, что при ухудшении ровности от 1 до 8 м/км экономические затраты на транспортные средства возрастают для легковых автомобилей с 8 до 15 центов США на 1 км, а для тяжелых грузовых автомобилей с 26 до 27 центов США на 1 км.

## 5. ВЛИЯНИЕ РОВНОСТИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

Ровность поверхности дорожного покрытия является одним из важнейших показателей транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог, оказывающих существенное влияние на режим и безопасность движения транспортных потоков. Наличие повреждений покрытия проезжей части, зрительно воспринимаемых водителями в качестве опасных (выбоины, просадки, возвышающиеся люки и т.п.), заставляют изменять траекторию движения автомобиля, отвлекают внимание от других элементов дорог, значимых с точки зрения безопасности движения. Особенно опасными являются неожиданные для водителя локальные повреждения покрытия, вызывающие необходимость резкого снижения скорости, что может способствовать возникновению аварийных ситуаций. Согласно сведениям официальной статистики аварийности, от 10 до 15% происшествий на дорогах, которые связаны с их неблагоприятным состоянием, вызваны несоответствием показателей ровности покрытия проезжей части установленным требованиям [15]. В связи с этим следует отметить, что сами эти требования многие годы не пересматривались, а показатели, используемые для оценки ровности, не гармонизированы с соответствующими показателями, принятыми в международной практике [16]. Указанные

факты свидетельствуют об актуальности исследований, целью которых является изучение влияния ровности дорожных покрытий на безопасность движения, с учетом современных режимов движения транспортных потоков, особенностей восприятия водителями дорожных условий, и разработка на основе установленных зависимостей рекомендуемых значений показателей ровности.

Для решения указанной задачи [16] был проанализирован массив информации о ровности проезжей части автомобильных дорог федерального значения (по показателю IRI), сведения о ДТП на них, интенсивности движения и дорожных условиях. В расчетах, результаты которых приведены ниже, использованы данные по учитываемым факторам на 47 тыс. км автомобильных дорог федерального значения, полученные в результате их диагностики. В качестве результирующего показателя, характеризующего уровень аварийности на отдельных участках дорог, использовали показатель риска ДТП.

Исследование зависимости показателя риска ДТП от ровности поверхности дорожного покрытия в значениях IRI показывает, что для всех рассматриваемых типов дорог (двухполосные, многополосные без разделительной полосы и многополосные с разделительной полосой) такая зависимость имеет общий характер. По мере увеличения индекса ровности IRI до значений индекса 5 - 6 показатель риска ДТП первоначально возрастает, а затем постепенно снижается. На рис. 5 представлена [16] исследуемая зависимость для полного диапазона изменения IRI на рассматриваемых типах дорог от минимальных значений данного показателя (1 - 2) до наибольших наблюдаемых значений (12 - 13).

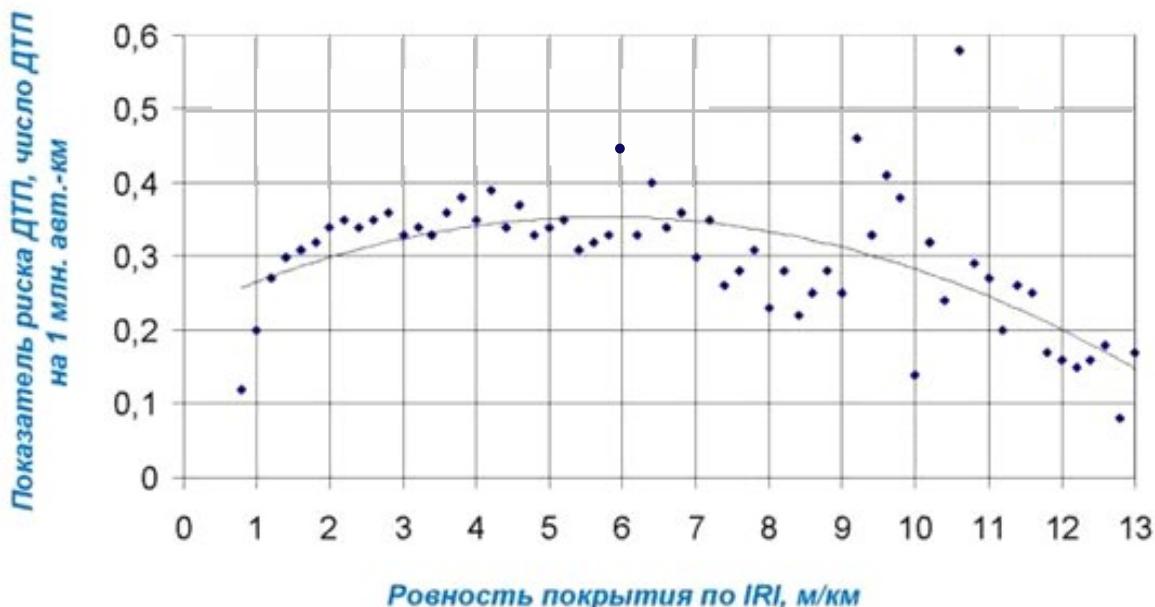


Рис. 5. Изменение показателя риска ДТП в зависимости от ровности покрытия проезжей части по (IRI) [16]

В связи с существенной ролью ровности дорожных покрытий в обеспечении общих транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог по критериям скорости, безопасности и удобства движения, себестоимости перевозок, в зарубежной практике особое внимание уделяется вопросам нормирования показателей ровности. При этом, нормированию подлежат, как показатели ровности дорожных покрытий при сдаче дорог в эксплуатацию после нового строительства, реконструкции или ремонта, так и ее предельно допустимые значения при эксплуатации дорог. Установлено, что повышение ровности дорожных покрытий, способствует не только улучшению условий безопасности и комфортности движения, но и существенно сокращает расход топлива автомобилей (уменьшение значения международного индекса ровности IRI на 10% приводит к снижению потребления топлива в среднем на 4,5% [16]).

Улучшение состояния покрытия по ровности с приведением ее показателей в соответствие с рекомендуемыми значениями способствует существенному сокращению дорожной аварийности. Исследования автора [16] показывают, что уменьшение индекса ровности IRI может способствовать снижению риска ДТП до 40% на многополосных и до 17% на двухполосных дорогах в зависимости от исходных значений показателя ровности (табл. 5.).

Таблица 5

№ п/п	Уменьшение индекса IRI, м/км	Снижение показателя риска ДТП (%) по типам дорог		
		Многополосные дороги с разделительной полосой	Многополосные дороги без разделительной полосы	Двухполосные
1	от 3 до 2	22,7	21,4	9,0
2	от 4 до 2	34,6	33,3	11,8
3	от 5 до 2	38,0	37,1	14,3
4	от 6 до 2	39,3	38,8	16,7

## 6. ВЛИЯНИЕ РОВНОСТИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫМ КОМПЛЕКСОМ

В работе [17] исследовано влияние ровности дорожного покрытия на выбросы автомобильно-дорожного комплекса (АДК).

В результате экспериментов: 1) установлена корреляционная зависимость между ровностью и количеством выбросов; 2) получено уравнение, позволяющее определить количество выбросов в зависимости от ровности при определенной интенсивности движения; 3) найдены оптимальные значения ровности, при которых происходят минимальные выбросы.

Установленные зависимости позволили разработать методику инвентаризации выбросов АДК, основанную на данных мониторинга состояния автомобильных дорог. Т.е., зная ровность дорожного покрытия и интенсивность движения на дорогах данной категории, можно определить среднегодовое количество выбросов, приходящихся на 1 км дороги.

Выбросы от всех вышеперечисленных источников разделены на 3 группы: 1) парниковые газы; 2) выбросы в придорожной зоне; 3) локальные загрязнения.

К парниковым газам отнесены их выбросы ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ ) от всех источников. К выбросам в придорожной зоне отнесены выбросы от движущихся АТС. К локальным загрязнениям отнесены выбросы при ремонте АТС и производстве материалов (выбросы предприятий).

Ниже приведен график зависимости [17] выбросов парникового газа  $\text{CO}_2$  от ровности дороги при движении автомобилей (рис. 6). Приведенный график соответствуют интенсивности движения  $N = 6000$  авт./сут., средний ремонт дороги - поверхностная обработка.

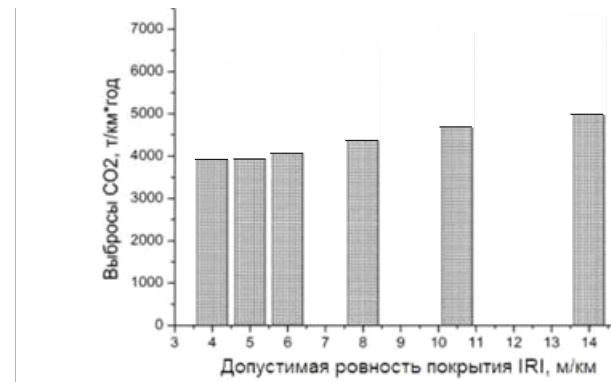


Рис. 6. Выбросы  $\text{CO}_2$  при движении автомобилей [17]

Анализ графиков позволил выявить, что не только количество, но и величина доли выбросов при каждом технологическом процессе, происходящем в период эксплуатации дороги, изменяется в зависимости от ровности дорожного покрытия.

На рис. 7 представлен график колебания процентной доли выхлопов движущихся автомобилей [17].

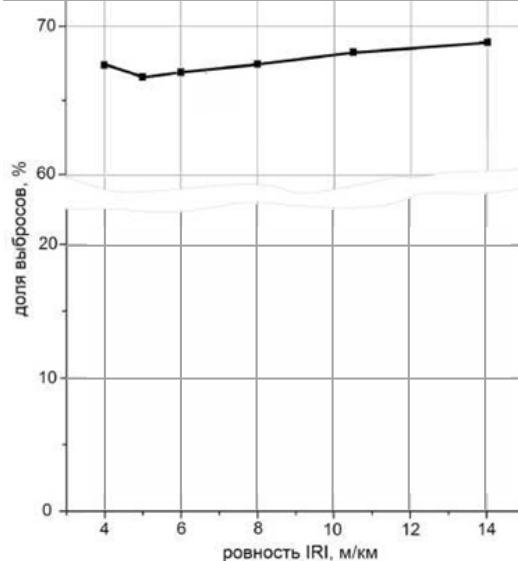


Рис. 7. Доля выхлопов движущихся автомобилей в выбросах от различных процессов при эксплуатации дороги

## 7. ВЫВОДЫ

Проведенный обзор исследований позволил сделать следующие выводы:

1. Транспорт является важнейшей составной частью экономики, фактором, обеспечивающим ее единство и целостность. Развитие автодорожного комплекса во многом определяет национальную безопасность страны,

решение социальных задач. Устойчивая и эффективная работа транспорта позволяет другим отраслям экономики снизить стоимость товаров и услуг, что стимулирует рост производства и потребления, а также способствует расширению международных связей, интеграции национальной экономики в мировую экономическую систему.

2. Установлена связь между расходом мощности, скоростью движения автопоездов и степенью ровности дорожного покрытия.

3. На дорогах с неровной поверхностью средняя скорость движения автопоездов снижается на 40-50%, межремонтный пробег уменьшается на 35-40%, производительность снижается на 48-50%, расход топлива увеличивается на 20-40%.

4. Ровность дорожного покрытия является аккумулятивным показателем эксплуатационного состояния покрытия и, как следствие, оказывает существенное влияние на экономическую составляющую работы автотранспорта в целом.

5. Для решения задачи повышения эффективности работы автомобильного транспорта необходимо исследование ровности дорожного покрытия. Это позволяет определить влияние ровности на производительность автопоезда при перевозке грузов и изменение себестоимости перевозки.

6. Результаты исследований позволяют сделать общий вывод о значимом влиянии ровности дорожных покрытий на безопасность движения. Характер такой зависимости неоднозначно проявляется в отдельных диапазонах ухудшения ровности - от первоначального увеличения риска ДТП до стабилизации и последующего уменьшения аварийности в связи с вынужденным снижением скоростей движения автомобилей.

7. Получены результаты исследований влияния ровности дорожных покрытий (по международному индексу ровности IRI) на показатели аварийности, в том числе при различном уровне загрузки дорог.

8. На основе анализа зависимостей показателя риска происшествий от величины ровности с использованием критериев оценки уровней безопасности дорожного движения могут быть установлены рекомендуемые значения показателя ровности покрытия IRI при сдаче дорог в эксплуатацию и предельно допустимые значения этого показателя из условия влияния на безопасность движения.

9. Ровность дорожного покрытия может служить критерием оценки количества выбросов парниковых и других газов.

10. Существует такая ровность покрытия, при которой доли выбросов, движущихся автомобилей минимальны, что может служить косвенным показателем при обосновании требований к ровности дорожного покрытия.

11. Определены зависимости между ровностью дорожного покрытия и выбросами загрязняющих веществ в атмосферу от автомобильно-дорожного комплекса. Авторами предлагается принять ровность дорожного покрытия за критерий оценки количества выбросов парниковых и других газов.

В связи с вышеизложенным представляется актуальным проведение комплексного исследования на тему: Повышение эффективности функционирования автодорожного комплекса Республики Узбекистан в ходе, которой необходимо решить следующие задачи:

-определение показателя, наиболее полно характеризующего техническое состояние автомобильной дороги;

-исследование влияния дорожных условий на производительность автомобиля;

-исследование влияния дорожных условий на безопасность движения;

-исследование влияния дорожных условий на экологические показатели автотранспорта.

Предлагается исследования проводить по грузовым и пассажирским перевозкам отдельно:

-международным и междугородним перевозкам;

-пригородным перевозкам;

-внутригородским перевозкам.

## **8. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ковалев, Я. Н. К вопросу об уточнении логистических терминов / Я. Н. Ковалев // Наука - образование, производству, экономике: материалы 6-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. / редкол.: Б. М. Хрусталев [и др.]. - Минск: БНТУ, 2010. - Т. 3. - С. 32.
2. Ковалев, Я. Н. Повышение эффективности работы автомобильных дорог как составной части автомобильного транспорта / Я. Н. Ковалев, А. Н. Тур, М. Г. Солодкая // Автомобильные дороги и мосты. - 2008. - № 2. - С. 31-34.
3. Ковалев, Я. Н. К вопросу о повышении эффективности финансирования автомобильных дорог / Я. Н. Ковалев, А. Н. Тур, М. Г. Солодкая // Автомобильные дороги и мосты. - 2009. - № 1 (3). - С. 103-106.
4. Чепцов, Г. В. Автомобильные дороги - категория экономическая / Г. В. Чепцов // Строительство и недвижимость. - 2005. - № 24 (514).
5. Экономика дорожного хозяйства: учебник / под ред. Е.Н.Гарманова. – М.: Издательский центр «Академия», 2013 – 400 с.
6. Строительство автомобильных дорог: учебник / под ред. В. В. Ушакова и В. М. Ольховикова. – М.: КНОРУС, 2013.
7. Дингес, Э.В. Экономика строительства, ремонта и содержания дорог: учебник – М.: Академия, 2014. – 280 с.
8. Дингес, Э. В. Оптимальное планирование производственной программы дорожной организации в сложных конъюнктурных условиях: Учеб. пособие / Э. В. Дингес, С. А. Гужов; МАДИ. – М.: МАДИ, 2013. – 95 с.
9. Авсеенко, А.А. Экономическое обоснование решений при проектировании автомобильных дорог: Метод.

- указ. / А.А. Авсеенко, Н.П. Кикава; МАДИ. – М.: МАДИ, 2011. – 58 с.
10. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: справочник-энциклопедия дорожника. Т. 1 / А. П. Васильев, Б. С. Марышев, В. В. Силкин [и др.] М.: Информавтодор, 2005.
11. Белый, О. В. Фундаментальные научные проблемы развития транспорта / О. В. Белый // Актуальные проблемы транспорта: сб. науч.-техн. тр. - СПб, 2002. - Т. 3. - С. 74-78.
12. Al-Rousan, T & Asi I (2010) Roughness Evaluation of Jordan Highway Network, ARRB Group LTD, Department of Civil Engineering Hashemite University, Jorden.
13. Chandra, S 2004, 'Effect of Road Roughness on capacity of two-lane roads,' American Society of Civil Engineers, Journal of Transportation Engineering, vol. 130, no. 3, p.360-364.
14. Foley, G & McLean, J 1998, 'Road Surface characteristics and condition: effects on road users,' ARRB Transport Research, viewed 26 April 2014.
15. Красиков О.А. О требованиях к ровности дорожных покрытий в период эксплуатации / О.А. Красиков, К.В. Могильный // Дороги и мосты. – 2014. – Вып. 31/1. – С. 122-136.
16. Чванов В.В., Стрижевский Д.А. Исследование влияния продольной ровности поверхности дорожного покрытия на безопасность дорожного движения. / В.В. Чванов, Д.А. Стрижевский // «Дороги и мосты». - Сборник ст./ФГУП «РОСДОРНИИ». - М.: 2009, вып. № 21/1. - С. 191-198.
17. Радкевич М.В. Выявление значимости некоторых факторов, влияющих на загрязнение воздуха автомобильно-дорожным комплексом// Автомобильный транспорт, 2013, вып. 32 - С. 106-110.

## EVALUATION OF THE AUTOMOBILE ROAD CONDITIONS IN THE MOUNTAIN AREA

Shaukat kudayberganovich **ХАКИМОВ\***, candidate of technical sciences, docent

Erkin Zikrullaevich **ФАЙЗУЛЛАЕВ**, candidate of technical sciences, docent

Rakhmonov Azim Sattorovich. Assistant

Tashkent Institute of Design, Construction and Maintenance of Automobile Roads

20, Amir Temur str., 1000060, Tashkent, Uzbekistan

Tel.: +998(90)936-47-36

\*E-mail: shaukathawk@gmail.com

**Abstract:** The method for determination of the longitudinal slope and the analyze of influence of the road condition and movement regime of the vehicle to normal reaction forces on the wheel is presented in this article.

**Keywords:** Longitudinal slope of the road, normal reaction forces, mountain conditions, vertical gyroscope, pass, slope of the vehicle frame.

## ТОҒ ҲУДУДИДА АВТОМОБИЛЬ ЙЎЛИНИНГ МУРАККАБЛИГИНИ БАҲОЛАШ

Шаукат Кудайберганович **ХАКИМОВ\***, т.ф.н., доцент

Эркин Зикруллаевич **ФАЙЗУЛЛАЕВ**, т.ф.н., доцент

Азим Сатторович **РАХМОНОВ**, асистент

Тошкент автомобиль йўлларини лойиҳалаш, куриш ва эксплуатацияси институти

1000060, Ўзбекистон, Тошкент, Амир Темур кўч., 20

Тел.: +998909364736

\*E-mail: shaukathawk@gmail.com

**Аннотация:** ушбу мақолада йўл шароити ва автомобиль ҳаракат режимиининг гилдираклардаги нормал реакцияларга таъсири таҳлили ҳамда йўл бўйлами қиялигини хисоб ва экспериментал аниқлаш усули келтирилган.

**Калит сўзлар:** йўлнинг бўйлами қиялиги, нормал реакциялар, тоғ шароити, гировертикаль, довон, автомобиль рамасининг эгилиши.

## ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

Шаукат Кудайберганович **ХАКИМОВ\***, к.т.н., доцент

Эркин Зикруллаевич **ФАЙЗУЛЛАЕВ**, к.т.н., доцент

Азим Сатторович **РАХМОНОВ**, асистент

Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог

1000060, Узбекистан, Ташкент, ул. Амира Темура, 20

Тел.: +998(90)9364736

\*E-mail: shaukathawk@gmail.com

**Аннотация:** В данной статье проанализировано влияние продольного уклона дороги и режима движения автомобиля на нормальные реакции колес и приведен расчетно-экспериментальный метод определения продольного уклона дороги.

**Ключевые слова:** продольный уклон дороги, нормальные реакции, горные условия, гировертикаль, перевал, наклон рамы автомобиля.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Рельеф местности по условиям эксплуатации автомобилей в зависимости от высоты расположения над уровнем моря подразделяется на равнинный (до 500 м), холмистый (500-1000 м), горный (1000-2000 м) и высокогорный (свыше 2000 м) [27]. А также горные условия эксплуатации определяются географическим расположением местности, представляющей сочетание возвышенностей, плоскогорий, высокогорных перевалов, извилистых глубоких ущелий, многочисленных оврагов и водотоков. Поэтому горные автомобильные дороги по своему характеру чрезвычайно разнообразны и по некоторым показателям, например таким, как интенсивность смены уклонов продольного профиля, степень извилистости плана трассы, разность высотных отметок и т.д., принципиально отличаются от дорог в равнинной местности.

Горные регионы занимают около 22 % территории Узбекистана [12, 18]. Сложный рельеф местности в горных регионах оказывает большое влияние на режим и безопасность движения автомобилей. Большая протяженность участков с максимальными продольными уклонами, кривыми малых радиусов в плане, зачастую с необеспеченной видимостью, заставляют водителей резко изменять режимы движения автомобилей,

что часто ведет к возникновению аварийных ситуаций. Наибольшее влияние на скорость и безопасность движения автомобилей горных дорог оказывают кривые в плане малого радиуса с большими углами поворота, число которых составляет 2–3 на 1 км. Горные автомобильные дороги Узбекистана составляют около 3 % от общей сети автомобильных дорог.

Дорожные и климатические условия горной местности негативно влияют на работоспособность автомобилей, их агрегатов и механизмов. Мощность двигателя при подъеме автомобиля на каждые 1000 м до высоты 3000 м снижается на 10 – 13 % из-за ухудшения наполнения цилиндров воздухом [27]. Резко ухудшается и охлаждение двигателя вследствие снижения температуры кипения воды (в среднем 5°C на каждые 1500 м высоты), снижения производительности вентилятора и теплопередачи от радиатора в окружающую среду.

Перегрев двигателя вызывает разжижение масла в картере двигателя и ухудшает его эксплуатационные свойства. Между тем снижение вязкости масла может стать причиной повышенного износа деталей двигателя.

С повышением высоты местности над уровнем моря ухудшаются условия работы электрооборудования: уменьшается сопротивление изоляции электропроводов и приборов, усиливается испарение электролита из аккумуляторных батарей, снижается надежность работы деталей и приборов.

В горной местности в среднем 12 – 15 % пути движения автомобиля осуществляется с использованием тормозов. На затяжных спусках температура тормозных накладок достигает 350–400°C, тормозных барабанов – 280 – 300°C, вследствие этого тормозной путь увеличивается в 2 раза и более по сравнению с допустимым.

Для изучения влияния метеорологических условий на мощность и экономичность двигателя [3] применен метод аналитического определения влияния температуры и давления воздуха на коэффициенты наполнения и избытка воздуха, индикаторный КПД и величину механических потерь, т.е. на те параметры, которые входят в формулы мощности и расхода топлива, выбранные для анализа.

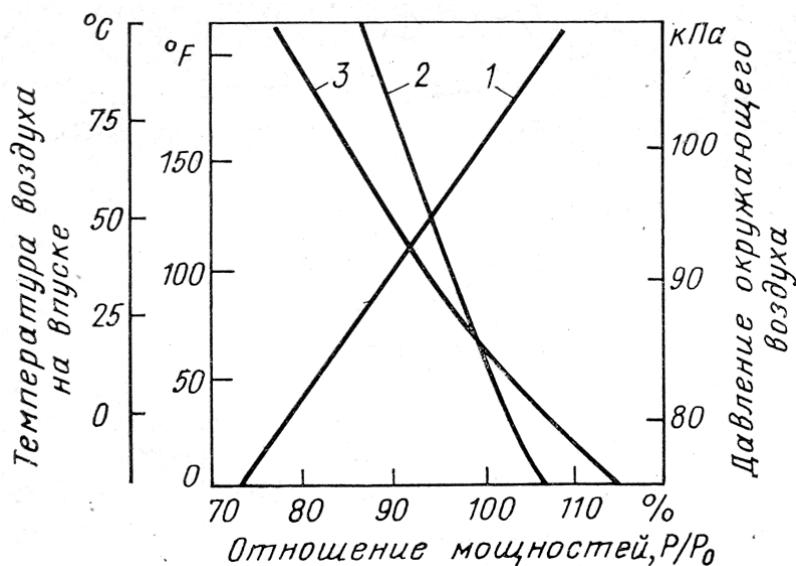


Рис.1. Влияние атмосферных условий на изменение мощности двигателя в зависимости от:  
1- давления окружающего воздуха; 2-температуры воздуха на впуске бензинового двигателя; 3-температуры воздуха на впуске дизельного двигателя.

На этой основе расчетным путем определены и построены графики, показывающие влияние атмосферных условий на индикаторную и эффективную мощности, величину механических потерь и удельный расход топлива для дизелей и карбюраторных двигателей, которые рекомендуется использовать для учёта влияния атмосферных условий на мощность и топливную экономичность двигателей.

Эксплуатация подвижного состава в горных условиях, как подчеркивается в ряде работ, вносит свои определенные корректизы [1, 19], которые затрагивают не только сферу технической эксплуатации, но и коммерческую сферу. Производительность транспортного средства, следовательно, перевозочные процессы, в горных условиях при одинаковых расстояниях маршрута могут быть различными в зависимости от направления движения на подъем или спуск. Такое обстоятельство определяет организацию сопоставительного исследования перевозочного процесса в двух противоположных направлениях с определением продольного уклона дороги.

## 2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Автомобильная перевозка грузов на достаточно большие расстояния осуществляется, в основном, автопоездами в составе автомобиля – тягача и прицепов и седельного тягача с полуприцепом. Эксплуатация подвижного состава с полуприцепом имеет ряд преимуществ: маневренность, приспособленность к контейнерной перевозке, универсализацию и возможность изменения платформы полуприцепа к разным грузам, перевозку жидких, сыпучих грузов полуприцепами-цистернами, а также длинномерных, габаритных грузов.

На дорогах равнинных регионов эксплуатация позволяет увеличивать габаритную длину автопоезда до разрешенных нормативами размеров. Горные дорожные условия вносят корректировки к требованиям формирования автопоездов.

Конструктивная особенность связи звеньев седельного автопоезда, изменение нагрузок на звенья, следовательно, на мосты подвижного состава, при движении на подъеме или спуске, динамических режимах разгона или торможения могут существенно влиять на тяговые свойства и производительность автопоезда. И это обязывает, производить анализ распределения нормальных нагрузок по осям седельного автопоезда при исследовании их эффективности в горных условиях.

Распределение нагрузок по осям автомобиля в зависимости от уклона дороги можно определить экспериментальным или расчетным методами. Приведем результаты расчетных и экспериментальных исследований по изучению влияния продольного уклона дороги на перераспределение нагрузок по осям конкретного седельного автопоезда [14].

Объектом исследований являлся автопоезд в составе автомобиля-тягача МАЗ-642208-020 и полуприцепа «Istanbul-Fruehauf», эксплуатируемый в условиях перевала «Камчик».

На рис. 2 показаны силы и моменты, действующие на автомобиль-тягач и полуприцеп при движении на подъеме.

Диапазон изменения продольного уклона дороги принят по данным технических параметров дороги, режимы ускорения или торможения – также с учетом эксплуатационных условий и технических возможностей седельного тягача.

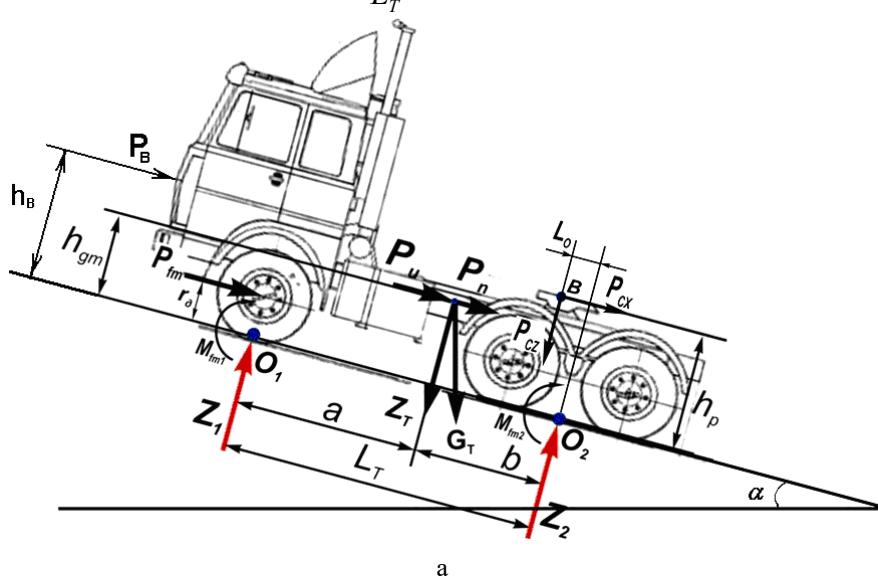
## 2.1. Определение зависимости нормальных реакций на колесах автопоезда от продольного уклона дороги

Для определения  $Z_1$  воспользуемся балансом моментов относительно точки  $O_2$  (рис. 2, а).

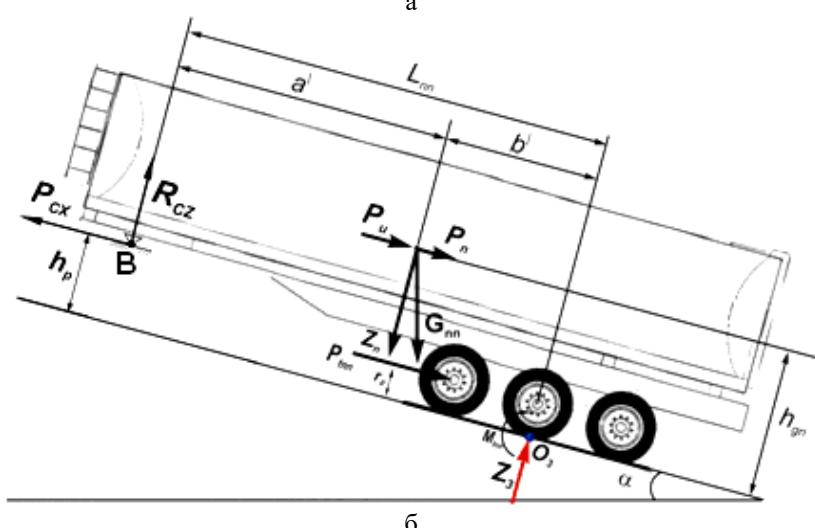
$$-Z_1 L_T - G_T (h_{gm} \sin \alpha + r_o f \cos \alpha + \delta_{Bp} j_a / g) - P_B h_B + b G_T \cos \alpha + P_{CZ} L_0 - P_{CX} h_p = 0 \quad (1)$$

Отсюда,

$$Z_1 = \frac{b G_T \cos \alpha - G_T (h_{gm} \sin \alpha + r_o f \cos \alpha + \delta_{Bp} j_a / g) - P_B h_B + P_{CZ} L_0 - P_{CX} h_p}{L_T}. \quad (2)$$



а



б

Рис. 2. Расчетные схемы для определения вертикальных реакций при движении автопоезда на подъеме:  
а – тягача; б – полуприцепа

Таким же образом, относительно точки  $O_1$  найдем  $Z_2$ :

$$Z_2 = \frac{G_T \cos \alpha (a + f r_\delta) + G_T h_{gm} (\sin \alpha + \delta_{Bp} j_a / g) + P_B h_B + P_{CX} h_p + P_{CZ} (L_T - l_0)}{L_T}. \quad (3)$$

Для полуприцепа реакция на седельно-цепном устройстве  $R_{CZ}$  равна  $P_{CZ}$  с противоположным направлением ( $P_{CZ} = R_{CZ}$ ).

Тяговая сила на седельно-цепном устройстве  $P_{CX}$  равна силе сопротивления движению полуприцепа

$$P_{CX} = G_{nn} (f \cos \alpha + \sin \alpha + j_a / g) + P_B. \quad (4)$$

Тогда,

$$R_{CZ} = P_{CZ} = \frac{G_{nn} \cos \alpha (b^l - r_\delta f) - G_{nn} h_{gn} (\sin \alpha + j_a / g) - P_B h_B + P_{CX} h_p}{L_{nn}}, \quad (5)$$

$$Z_3 = \frac{G_{nn}}{L_{nn}} (a^l \cos \alpha + (h_{gn} - h_p) (\sin \alpha + \delta_{Bp} j_a / g) + r_\delta f \cos \alpha) + \frac{P_B h_B}{L_{nn}}. \quad (6)$$

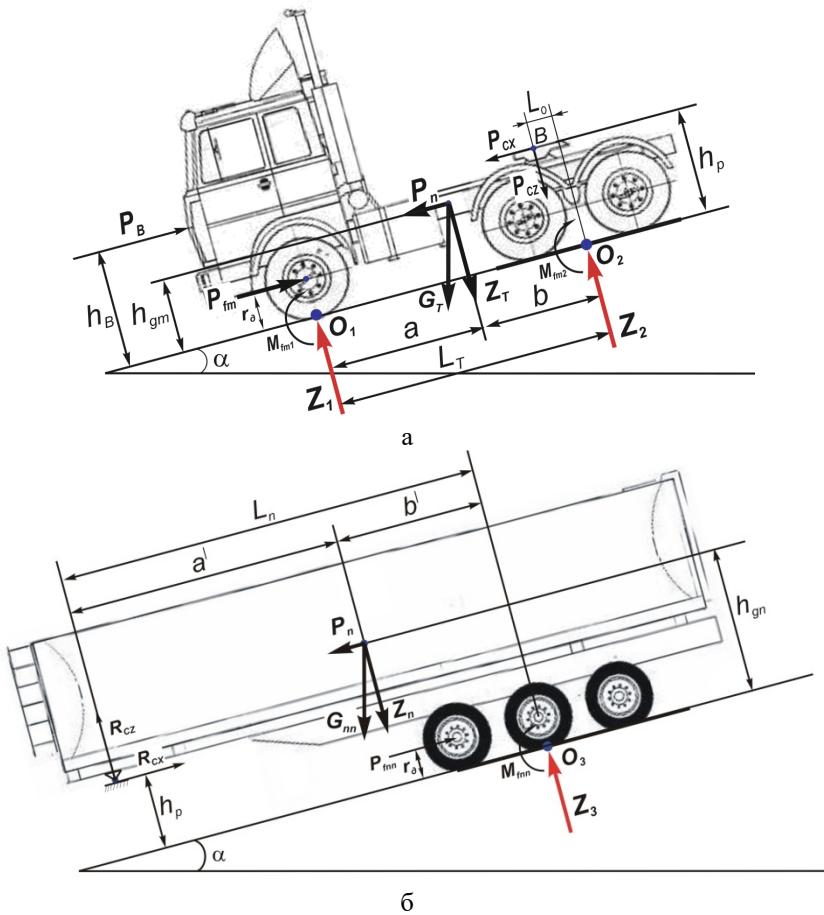


Рис. 3. Расчетные схемы для определения вертикальных реакций при движении автопоезда на спуске:  
а – тягача; б – полуприцепа

При движении на спуске сила от продольного уклона дороги  $P_n$  и сила инерции  $P_u$  (при движении автопоезда с замедлением) превращаются на силы, приводящие автопоезд, в движение, то есть эти силы берутся с противоположным знаком в выражениях, чем при движении на подъем (рис. 3). Таким образом, нормальные реакции на колесах автопоезда при движении на спуске определяются следующими выражениями:

$$Z_1 = \frac{b G_T \cos \alpha - G_T (r_\delta f \cos \alpha - h_{gm} \sin \alpha - \delta_{Bp} j_3 / g) - P_B h_B + P_{CZ} L_0 + P_{CX} h_p}{L_T}, \quad (7)$$

$$Z_2 = \frac{G_T \cos \alpha (a + f r_\delta) - G_T h_{gm} (\sin \alpha + \delta_{Bp} j_3 / g) + P_B h_B - P_{CX} h_p + P_{CZ} (L_T - l_0)}{L_T}, \quad (8)$$

$$Z_3 = \frac{G_{nn}}{L_{nn}} (a^l \cos \alpha - (h_{gn} - h_p) (\sin \alpha + \delta_{Bp} j_3 / g) + r_\delta f \cos \alpha) + \frac{P_B h_B}{L_{nn}}, \quad (9)$$

$$P_{CX} = G_{nn} (\sin \alpha + j_3 / g - f \cos \alpha) + P_B, \quad (10)$$

$$R_{CZ} = \frac{G_{nn} \cos \alpha (b^l - r_o f) + G_{nn} h_{gn} (\sin \alpha + j_3 / g) - P_B h_B - R_{CX} h_p}{L_{nn}}.$$

(11)

Используя исходные данные, приведенные выше, можно построить графики зависимостей изменения нормальных нагрузок от режима движения автопоезда (рис. 4-6) при  $Z_i = f(\alpha)$ ,  $Z_i = f(j)$ ,  $Z_i = f(V)$ .

С помощью зависимостей  $Z_i = f(\alpha)$ ,  $Z_i = f(j)$ ,  $Z_i = f(V)$  можно определить влияние уклона дороги на перераспределение нагрузок и сравнить их с нормальными нагрузками на осях автопоезда на горизонтальной дороге.

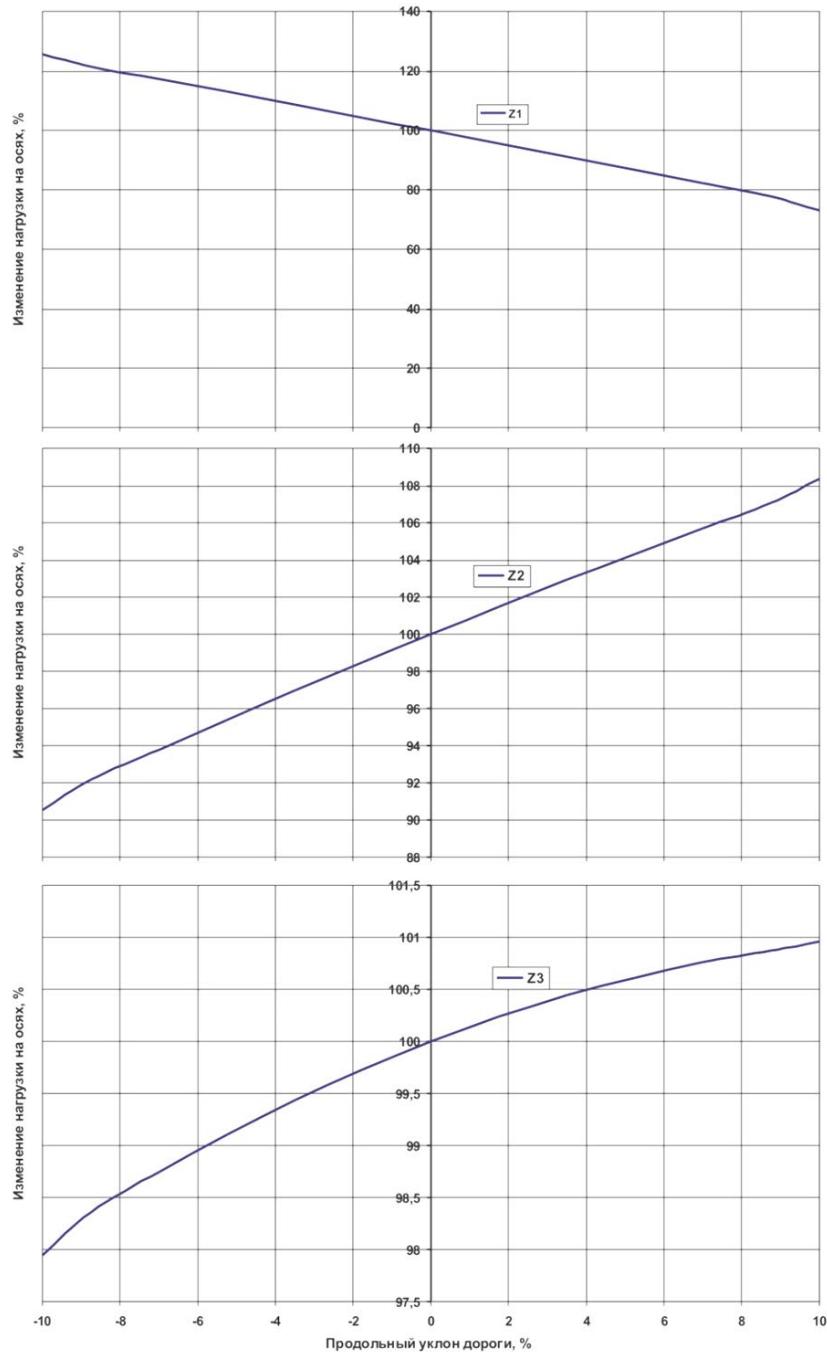


Рис. 4. Степень влияния продольного уклона дороги на изменения нормальных нагрузок на осях автопоезда

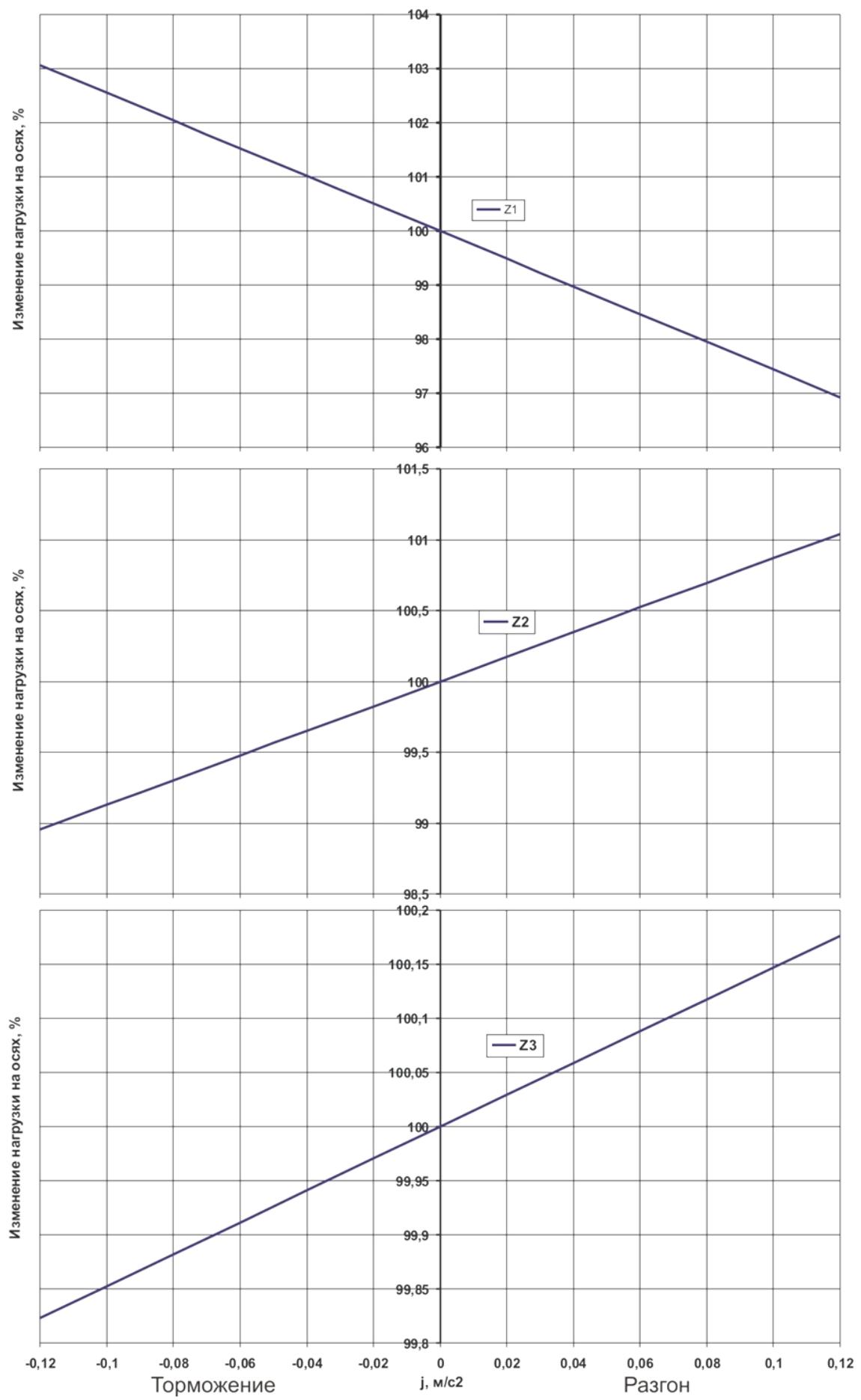


Рис. 5. Степень влияния ускорения и замедления на изменения нормальных нагрузок на осях автопоезда

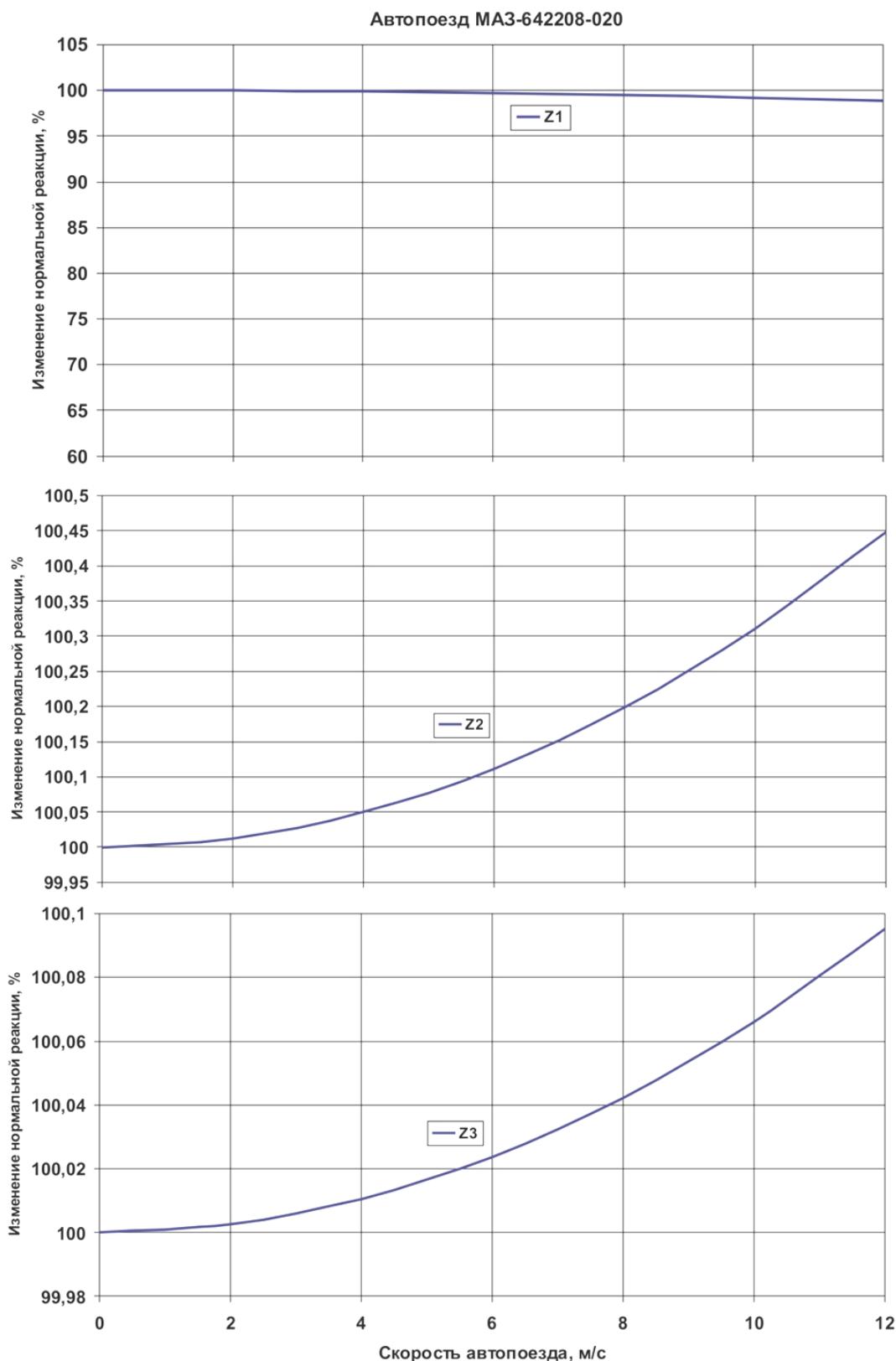


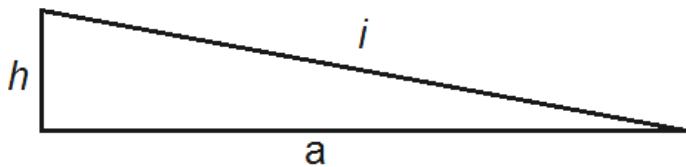
Рис. 6. Степень влияния скорости автопоезда на изменения нормальных нагрузок на осях автопоезда

Существенное влияние на тягово-скоростные и топливно-экономические показатели оказывает продольный уклон дороги. При перевозке грузов по одному и тому же маршруту в противоположных направлениях в горной местности производительность, следовательно, экономические показатели транспортной работы будут разными.

## 2.2. Методы определения продольного уклона дороги

Проектная линия отдельных участков дороги характеризуется продольным уклоном  $i$  между двумя точками, т.е. отношением разницы высот  $h$  между этими точками к горизонтальному расстоянию между ними а. Продольный уклон определяется тангенсом угла наклона линии к горизонту [24]:

$$i = \operatorname{tg} \alpha = h / a$$



$$i = \frac{h}{a} - \text{уклон (безразмерный)}$$

$$i = \frac{h}{a} * 100 - \text{уклон в \%}$$

$$i = \frac{h}{a} * 1000 - \text{уклон в \% (в промилле)}$$

Величина уклона  $i$  выражается в процентах, в промилле (тысячных долях) или в относительных единицах:  $i = 3\%$ , или  $i = 30\%$ , или  $i = 0,03$ . Значение уклона в промилле показывает, на сколько метров повышается или понижается трасса оси дороги на протяжении 1000 м. Подъемы считаются положительными, а спуски отрицательными уклонами.

При геодезических изысканиях измеряют не горизонтальное расстояние между двумя точками, а расстояние непосредственно по поверхности земли. Поэтому фактически уклон вычисляется не как  $\operatorname{tg} \alpha$ , а как  $\sin \alpha$ :

$$l = \sin \alpha = h/i$$

Учитывая, что угол продольного наклона трассы дороги не превышает обычно  $3\ldots 4^\circ$ , можно считать  $\sin \alpha \sim \operatorname{tg} \alpha$ . Продольные уклоны дорог и улиц должны удовлетворять требованиям, соблюдение которых обеспечивает нормальные условия движения автомобиля. Хотя современные автомобили в состоянии преодолевать на коротких сухих участках значительные подъемы, скорость движения при этом заметно снижается. При скользкой или грязной поверхности дороги скорость движения на подъеме будет еще меньше.

При проектировании продольного профиля дорог и улиц в точках пересечения соседних участков с разными уклонами образуются переломы. Близкое расстояние между переломами продольного профиля и особенно частое чередование подъемов и спусков нарушают удобство движения, так как требуют изменения режима езды, переключения передач, а иногда торможения. Поэтому желательно соблюдать, возможно, большие расстояния между переломами профиля. Различают выпуклые и вогнутые переломы профиля. Выпуклые переломы нарушают плавность движения и ухудшают обзор дороги впереди движущегося автомобиля. На вогнутых переломах возникают толчки и перегрузка рессор под действием центробежной силы.

Существуют много способов определения продольного уклона дороги. Один из них это определение продольного уклона дороги в зависимости от скорости движения автомобиля. При этом перемещают автомобиль при фиксированном положении педали акселератора по участкам дороги с известными величинами продольных уклонов и устанавливают зависимость между величинами этих уклонов и скоростью движения автомобиля. На исследуемом участке измеряют скорость движения автомобиля, а определение продольного уклона участка автомобильной дороги производят по установленной зависимости. Также известен способ определения продольного уклона автомобильной дороги с помощью аэрофотосъемки. Аэрофотосъемку местности производят аэрофотоаппаратами, установленными в кабинах летательных аппаратов вместе с дополнительным оборудованием, определяющим положение аэроснимков в момент их фотографирования в пространстве. Полученные в процессе аэрофотосъемки стереоскопические фотоснимки обрабатывают на стереометре. При этом определение уклонов сводится к снятию отсчетов с винта продольных параллаксов после наведения стереонити на изображение наблюдаемых точек. К недостаткам данного способа следует отнести высокую трудоемкость измерений и обработки результатов.

## 2.3. Определение продольного уклона дороги расчетно-экспериментальным методом

Согласно требованиям нормативных методов, для определения продольного уклона дороги требуется использование динамометрической тележки со специальными приборами для измерения и регистрации. Определяемая геометрия профиля дороги зависит от установленной базы динамометрической тележки. Макро – или микро – профиль продольного уклона дороги существенно влияет на тягово-скоростные (производительность) и топливно-экономические свойства автомобиля. Автомобильные дороги высокой категории нормируются показателями макро – профиля в продольном направлении. В горных условиях движение большегрузных автомобилей с полуприцепами организовывается обычно с небольшой скоростью и динамикой. Поэтому разработка косвенного способа определения продольного уклона дороги с самим эксплуатируемым автомобилем позволит облегчить решение проблемы.

При известных методах измерения продольного уклона дороги разработана методика определения продольного уклона дороги непосредственно эксплуатируемым автопоездом с установкой на раму тягача прибора гировертикали ЦГВ-4, позволяющего измерять тангаж – продольный уклон рамы. Прибор входит в комплект системы автопилота самолета.

Экспериментальное определение значений продольного уклона рамы тягача осуществлялось при выполнении научно-исследовательской работы [4] на горной дороге маршрута Ангрен – Пап – Ангрен на автопоезде, перевозящем нефтепродукт между пунктами назначения. На основе анализов профиля участков

дороги маршрута, и режимов движения автопоезда был выбран 145-156 км горный участок дороги А-373 на перевале «Камчик». Данный участок характеризуется переменным продольным профилем, в основном, с подъемом в одну сторону, лишь одним существенным поворотом, которым приняли пренебречь, и достаточно высоким расположением над уровнем моря. Всем этим определялись максимально-реальные горные условия эксплуатации автопоезда для отрезка Камчикского перевала.

Продольный уклон рамы автомобиля-тягача зависит как от профиля дороги, так и от перераспределения вертикальной нагрузки между передними и задними опорами тягача из-за уклона дороги, силы сопротивления воздуха и силы инерции при переменной скорости движения. От перераспределения массы изменяется степень деформации подвески переднего и заднего мостов тягача.

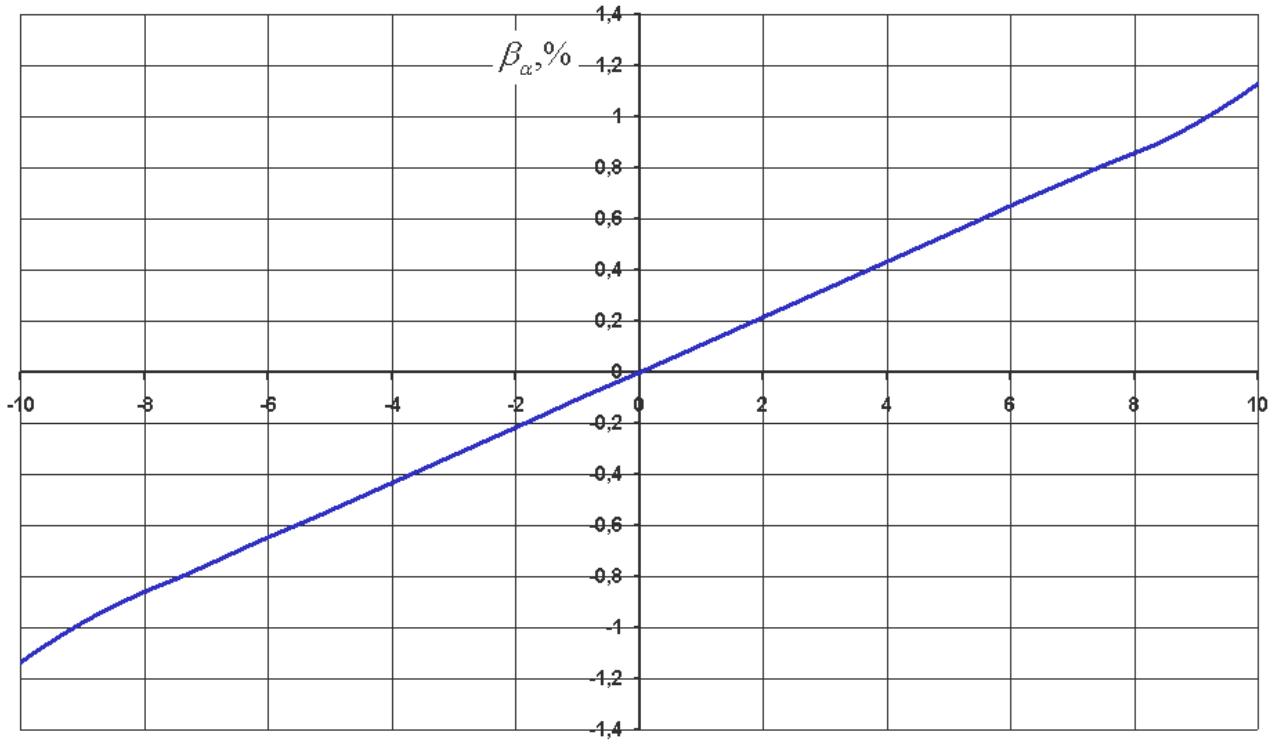


Рис. 7. Степень влияния продольного уклона дороги на угол уклона рамы в продольной плоскости

Измеряемое значение угла продольного уклона рамы  $\alpha_{узм}$  является суммой его составляющих и равно

$$\alpha_{узм} = \alpha + \beta_\alpha + \beta_v + \beta_{j_a}, \quad (12)$$

где  $\alpha$  - продольный уклон дороги;  $\beta_\alpha$  - угол уклона рамы в зависимости от уклона дороги;  $\beta_v$  - угол уклона рамы в зависимости от силы сопротивления воздуха и скорости автопоезда;  $\beta_{j_a}$  - угол уклона рамы в зависимости от силы инерции и ускорения автопоезда.

Углы  $\beta_\alpha$ ,  $\beta_{j_a}$ ,  $\beta_v$  можно определить при установленных зависимостях  $Z_i = f(\alpha)$ ,  $Z_i = f(j_a)$ ,  $Z_i = f(V)$  и  $h = (h_1 + h_2)$  - деформации передней ( $h_1$ ) и задней ( $h_2$ ) подвески относительно исходного положения на горизонтальной дороге  $\beta = \arctg(h/L_T)$ .

Значение  $h$  определяется по упругой характеристике подвески автомобиля-тягача и изменению вертикальных реакций на осях автопоезда. При этом из-за небольших динамических изменений режимов движения можно не учитывать высокочастотные колебания рамы и демпфирующую характеристику подвесок.

Во время движения автопоезда зависимости  $Z_i = f(\alpha)$ ,  $Z_i = f(j_a)$ ,  $Z_i = f(V_a)$  дают нам возможность определить вертикальные реакции на осях автомобиля. Следовательно, с помощью формул

$$h_1 = \frac{(Z_{01} - Z_1)}{C_1}, \quad h_2 = \frac{(Z_2 - Z_{02})}{C_2}$$

и зависимостей

$$\beta_{\alpha,V,j_a} = \arctg \frac{h_1 + h_2}{L_T} = \arctg \frac{(Z_{01} - Z_1)C_2 + (Z_2 - Z_{02})C_1}{L_T C_1 C_2} \quad (13)$$

можно определить изменение продольного уклона рамы тягача в зависимости от уклона дороги и режима

движения автопоезда при движении автопоезда на подъеме, где  $C_1$ ,  $C_2$  - коэффициенты жесткости передней и задней подвесок.

Для режима движения автопоезда на спуске углы  $\beta_\alpha$ ,  $\beta_{j_a}$ ,  $\beta_V$  определяются с помощью следующих формул:

$$\beta_\alpha = \arctg \frac{h_1 + h_2}{L_T} = \arctg \frac{(Z_1 - Z_{01})C_2 + (Z_{02} - Z_2)C_1}{L_T C_1 C_2}, \quad (14)$$

$$\beta_{j_a} = \arctg \frac{h_1 + h_2}{L_T} = \arctg \frac{(Z_1 - Z_{01})C_2 + (Z_{02} - Z_2)C_1}{L_T C_1 C_2}, \quad (15)$$

$$\beta_V = \arctg \frac{h_1 + h_2}{L_T} = \arctg \frac{(Z_{01} - Z_1)C_2 + (Z_2 - Z_{02})C_1}{L_T C_1 C_2}. \quad (16)$$

С помощью вышеприведенных выражений строятся зависимости  $\beta_\alpha = f(\alpha)$ ,  $\beta_{j_a} = f(j_a)$ ,  $\beta_V = f(V)$  (рис. 7-9).

Зависимость  $\beta_\alpha = f(\alpha)$  можно построить по уравнениям (13, 14). Для определения  $\alpha$  с помощью выражения (12) установлена промежуточная вспомогательная зависимость  $\alpha = f(\beta_\alpha + \alpha)$  (17), иллюстрированная на рис. 10.

$$\begin{aligned} \alpha = f(\alpha + \beta_\alpha) = & 0,91078x - 0,982 \cdot 10^{-2} x^2 + 0,4166 \cdot 10^{-2} x^3 - \\ & - 0,8114 \cdot 10^{-3} x^4 + 0,7384 \cdot 10^{-4} x^5 - 0,25389 \cdot 10^{-5} x^6 \end{aligned} \quad (17)$$

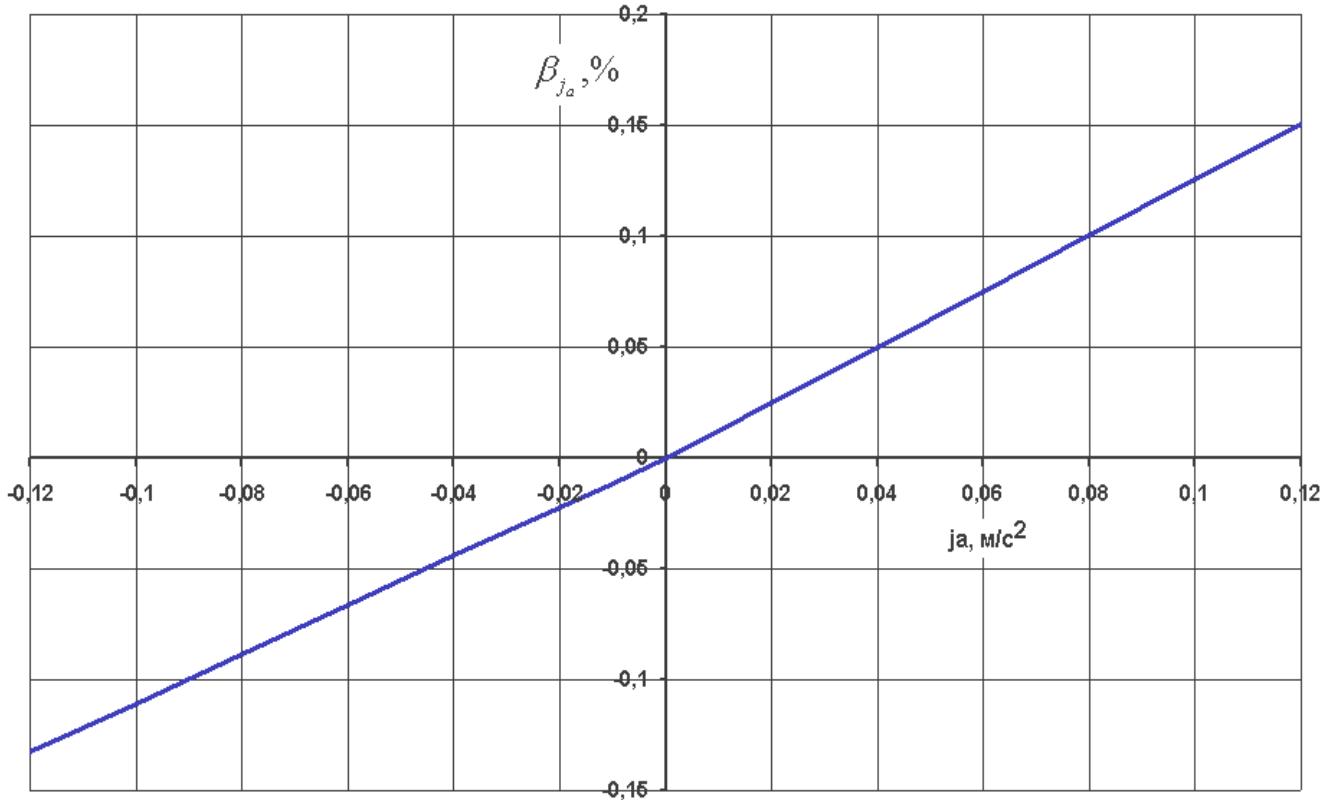


Рис. 8. Степень влияния ускорения и замедления на угол наклона рамы в продольной плоскости

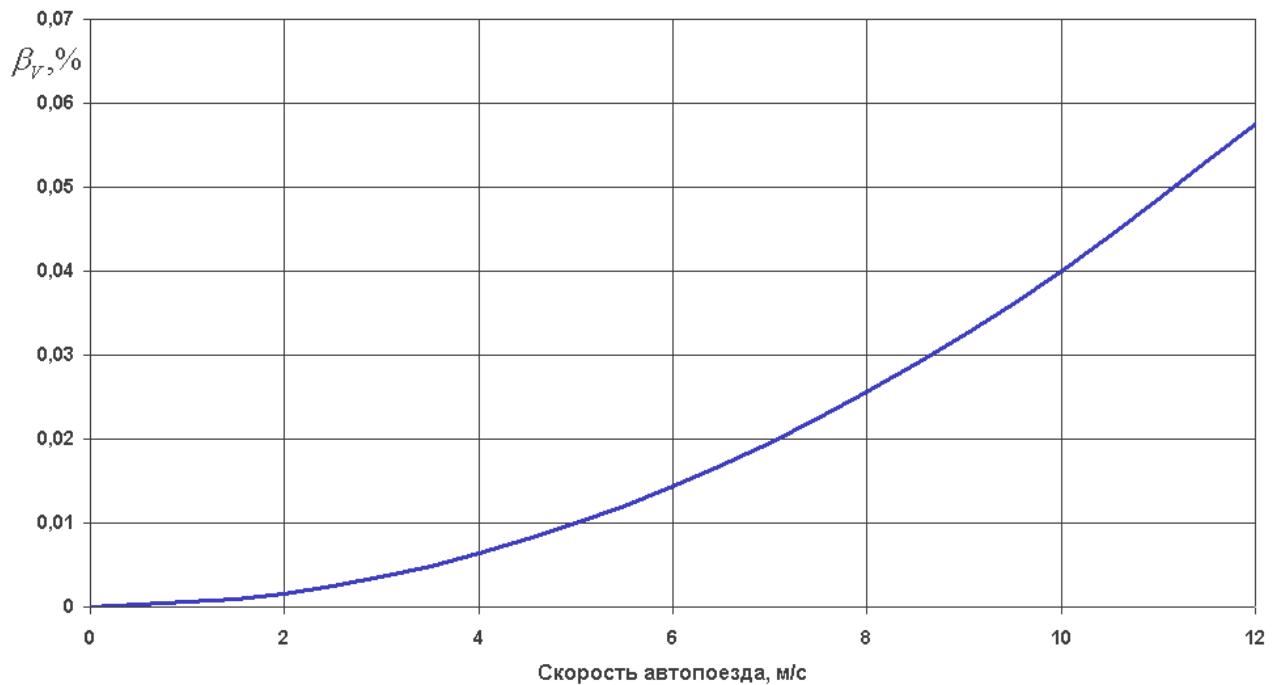
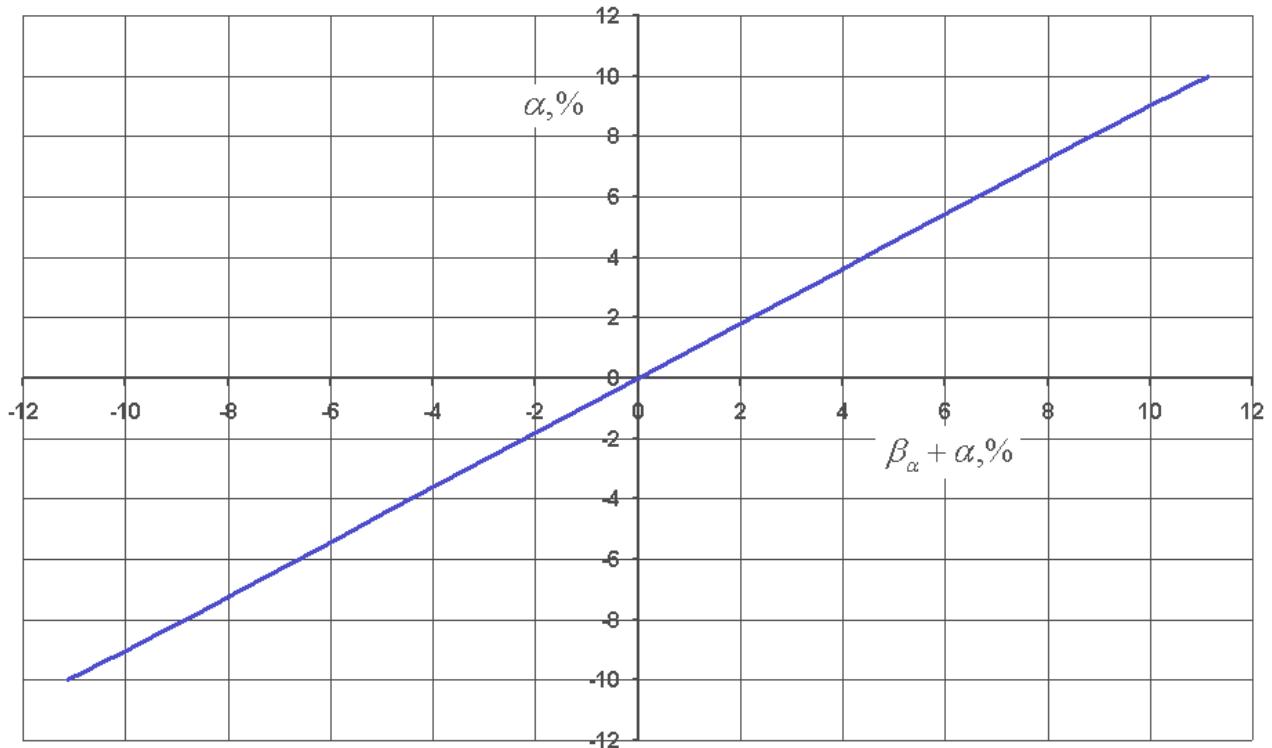


Рис. 9. Степень влияния скорости автопоезда на угол уклона рамы в продольной плоскости

Рис. 10. Степень влияния продольного уклона дороги на  $\beta_\alpha + \alpha$ 

С помощью уравнения (17) и зависимостей  $Z_i = f(\alpha, j_a, V_a)$ ,  $\beta_\alpha = f(\alpha)$ ,  $\beta_{j_a} = f(j_a)$ ,  $\beta_V = f(V)$  определен продольный уклон каждого участка дороги.

При определении  $\alpha$  не учитываются высокочастотные колебания рамы и демпфирующая характеристика подвесок. Результаты расчетно-экспериментального определения продольного уклона участков данного маршрута на примере расстояния 5 км приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ уч.	Длина уч. М	$V_a, \text{ км/ч}$	$\beta_V, \%$	$j_a, \text{ м/с}^2$	$\beta_{j_a}, \%$	$\alpha_{изм}, \%$	$\alpha + \beta_\alpha, \%$	$\alpha, \%$
145								
1	100	11,97	0,004413	0,05	0,0627	8,36	8,292887	7,486352
2	100	17,29	0,009209	0,05	0,0627	7,22	7,148091	6,451107
3	100	19,95	0,012261	0,02	0,0251	6,84	6,802639	6,139218

Продолжение таблицы 1

4	200	21,28	0,013951			7,6	7,586049	6,846864
5	500	21,945	0,014837			7,6	7,585163	6,846063
146								
6	400	21,945	0,014837			8,36	8,345163	7,533665
7	280	21,945	0,014837			6,08	6,065163	5,473934
8	320	21,945	0,014837			9,12	9,105163	8,220857
147								
9	400	21,945	0,014837	0,022	0,02761	6,08	6,037553	5,449034
10	200	24,605	0,018652	0,022	0,02761	2,66	2,613738	2,358171
11	100	24,605	0,018652			6,08	6,061348	5,470493
12	100	24,605	0,018652			6,46	6,441348	5,813231
13	200	22,61	0,01575			7,6	7,58425	6,845238
148								
14	190	21,945	0,014837			8,74	8,725163	7,877509
15	140	21,945	0,014837			7,6	7,585163	6,846063
16	350	21,945	0,014837			6,46	6,445163	5,816672
17	170	21,945	0,014837			7,98	7,965163	7,189768
18	150	21,945	0,014837			7,6	7,585163	6,846063
149								
19	130	21,945	0,014837			7,98	7,965163	7,189768
20	140	21,28	0,013951			9,12	9,106049	8,221657
21	120	21,28	0,013951			7,6	7,586049	6,846864
22	350	21,28	0,013951			9,12	9,106049	8,221657
23	260	21,28	0,013951			8,74	8,726049	7,87831
150								

### 3.ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Проанализированы особенности горных условий эксплуатации.
- Проанализированы влияние продольного уклона дороги и режимов движения автопоезда в горных условиях на нормальные реакции и на угол уклона рамы автомобиля-тягача.
- Приводится расчетно-экспериментальный метод определение продольного уклона дороги.
- Этот метод позволяет определить реальных значений продольных уклонов конкретных горных дорог.
- Знание реальных значений продольных уклонов и других параметров дорог позволяет произвести оценку сложности автомобильной дороги в горной местности. Имея данные по условиям эксплуатации автомобилей можно произвести сравнительную оценку автомобилей в данных условиях по эксплуатационным свойствам и выбрать более рациональный тип транспортных средств для конкретных условий.

### 4.БИБЛИОГРАФИЯ

- Алиходжаев А.А. Управление нормативами технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом условий эксплуатации: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Ташкент, 2008. – 20 с.
- Арав Б.Л. Повышение эффективности колесных и гусеничных машин совершенствованием и стабилизацией характеристик моторно-трансмиссионных установок: Дис. ...докт. техн. наук. – Челябинск, 2005. – 428 с.
- Вонг Дж. Теория наземных транспортных средств. Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1982. – 284 с.
- Выбор рационального типа автомобиля тягача для перевозки нефтепродуктов в условиях Камчикского перевала. Заключительный отчет А-13-100 по ГНТП. – Ташкент, 2008.
- Гронин Д.П. Повышение эффективности автомобильных перевозок в системе доставки грузов с использованием терминалных комплексов: Дис. ...канд. техн. наук. – Волгоград, 2006. – 217 с.
- Загородний Н.А. Повышение эффективности эксплуатации автомобилей обеспечением рациональных значений эксплуатационных параметров их шин: Дис. ...канд. техн. наук. – Белгород, 2010. – 150 с.
- Иванов А.М., А.Н.Нарбут, А.С.Паршин и др. Автомобили: Теория эксплуатационных свойств. – М.: «Академия», 2013. – 176 с.
- Лама Б. Разработка системы эксплуатации автомобилей в условиях тропического климата и горного рельефа (на примере Республики Гвинея): Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск, 1994. – 28 с.
- Лечиашвили Г.Р. Повышение эффективности автомобилей в условиях горного региона: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Минск, 1989. – 38 с.
- Магомедов М. М. Горные дороги. (Особенности проектирования, строительства и эксплуатации на примере Дагестана). — Махачкала-Москва: Техполиграфцентр, 2006. - 247 с.
- Маткеримов Т.Ы. Повышение эксплуатационной эффективности большегрузных автомобилей в горных районах Кыргызстана: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Бишкек, 1995. – 26 с.
- Мирзабеков М. С. Особенности режима и безопасности движения на горных автомобильных дорогах

- Узбекистана // Молодой ученый. - 2016. - №7.2. - С. 64-67.
13. Мухитдинов А.А. Научные основы выбора параметров и режимов управления двигателем и трансмиссией автомобиля: Дис. ... докт. техн. наук. – Ташкент: ТАДИ, 2004. – 310 с.
  14. Мухитдинов А.А., Хакимов Ш.К. Совершенствование методологии повышения эффективности эксплуатации грузовых автомобилей: Монография. - Ташкент: «Fan va texnologiya», 2017. -200 с.
  15. Мухитдинов А.А., Хакимов Ш.К. Анализ зависимости удельной производительности от эксплуатационных параметров автопоезда // Вестник ТАДИ. – Ташкент, 2011. - № 2. – С. 18-23.
  16. Нусупов Э.С. Повышение эксплуатационной эффективности АТС в горных условиях: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – М., 1991. – 40 с.
  17. Турсунов А.А. Управление работоспособностью автомобилей в горных условиях эксплуатации: Дис. ... докт. техн. наук. – Владимир: ВГУ, 2002. – 441 с.
  18. Ураков А.Х, Мирзабеков М.С, Оценка безопасности движения на горных автомобильных дорогах Узбекистана. Т: Вестник. ТАДИ.№ 1, 2001, 91–95 с.
  19. Файзиев М.М. Повышение эффективности использования двигателей КамАЗ-740 в горных условиях: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Ташкент, 1993. – 21 с.
  20. Файзуллаев Э.З., Хакимов Ш.К. Расчетный метод выбора рационального типа автопоезда // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2006. - № 3. - С. 94-96.
  21. Файзуллаев Э.З., Хакимов Ш.К., Мухитдинов А.А. Расчетные исследования маневренности и проходимости автопоезда в условиях эксплуатации перевала «Камчик» // Проблемы механики. – Ташкент, 2006. - № 5. - С. 28-31.
  22. Файзуллаев Э.З., Ш.К.Хакимов и др. Влияние врачающихся масс автомобиля на его тягово-скоростные свойства // Проблемы механики. – Ташкент, 2008. - № 4-5. - С. 53-55.
  23. Файзуллаев Э.З., Хакимов Ш.К., Турсунбаев Б.Х. Интерполяция внешней характеристики двигателя при моделировании движения автомобиля на языке программирования Maple-11 // Вестник ТАДИ. – Ташкент, 2009. - № 1. – С. 29-34.
  24. Фурман А.С. Влияние продольного уклона дороги на эффективность использования экскаваторно-автомобильных комплексов // Международный научно-исследовательский журнал.-2015.-№ 3.-С. 116-119.
  25. Хакимов Ш.К., Саттивалдиев Б., Касымов О.К. Оценка скоростных характеристик автопоездов // Проблемы механики. – Ташкент, 2007. - № 4. - С. 15-17.
  26. Rajesh Rajamani. Vehicle dynamics and control. Springer Science + Business Media, 2012. – 496 ps.

## WAYS TO IMPROVE UZBEKISTAN'S POSITION IN THE LOGISTICS EFFICIENCY RATING

**Gaffor Allakulovich SAMATOV\***, DSc, professor

**Rustam Gaffarovich SAMATOV**, PhD, senior lecturer

**Shaxzoda SHARAPOVA**, student

Tashkent Institute of road design, construction and exploitation

Str. Amir Temur, 20, 100060, Tashkent, Uzbekistan

Tel.: +998(97) 404-90-56,

\*e-mail: [transportlogistikasi@uz](mailto:transportlogistikasi@uz)

**Abstract:** Places of key indicators of the logistics efficiency index created by the world Bank are analyzed. The score received in 2018 by the Republic of Uzbekistan was 2.58. The analysis found that the highest DL (20.0%) was the score received for organizing timely delivery of goods, the lowest-the assessment of the work of customs authorities (13.5%). Obvious problems were identified and recommendations were developed to increase the position of Uzbekistan.

In particular: efficiency of the customs clearance process; quality of infrastructure; ease of organizing international transport and competitive prices; competence of employees and quality of services; timely delivery of material flows in the supply chain.

**Keywords:** Logistics performance index, analysis, process, cargo delivery, service, international transportation, supply chain, evaluation, provider, infrastructure, control, service quality.

## ЛОГИСТИКА САМАРАДОРЛИГИ РЕЙТИНГИДА ЎЗБЕКИСТОННИНГ МАВҶЕНИИ ОШИРИШ ЙЎЛЛАРИ

**Гаффор Аллакулович САМАТОВ\***, и.ф.н., профессор

**Рустам Гаффарович САМАТОВ**, PhD, ст. преп.

**Шахзода Ровшан қизи ШАРАПОВА**, талаба

Тошкент автомобил йўлларини лойихалаш, қуриш ва эксплуатацияси институти

100060, Ўзбекистон, Тошкент, Амир Темур кўч., 20

Tel.: +998(97) 404-90-56,

\*e-mail: [transportlogistikasi@uz](mailto:transportlogistikasi@uz)

**Аннотация:** Жаҳон банки томонидан яратилган логистика самарадорлиги индексининг асосий кўрсаткичлари жойлари таҳлил қилинади. Ўзбекистон Республикаси томонидан 2018 йилда қабул қилинган ҳисоб бўйича индекс қиймати 2,58 га teng. Таҳлиллар бўйича, энг юкори DL (20,0%) товарларни ўз вақтида етказиб беришини ташкил этиш учун олинган балл ва энг паст DL божхона органлари ишини баҳолаш (13,5%) бўлиб чиқди. Аниқ муаммолар аниқланиб, Ўзбекистоннинг мавҷенини ошириш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилди.

Жумладан: божхона расмийлаштируви жараёнининг самарадорлиги; инфратузилманинг сифати; халқаро transport ва ракобат нархларини ташкил этишнинг қулагилги; ходимларнинг малакаси ва хизматлар сифати; таъминот жараённада моддий оқимларни ўз вақтида етказиб бериш.

**Калит сўзлар:** Логистика ишлаш индекси, таҳлил, жараён, юк етказиб бериш, хизмат, халқаро транспорт таъминот занжири, баҳолаш, провайдер, инфратузилма, назорат, хизмат сифати.

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПОЗИЦИИ УЗБЕКИСТАНА В РЕЙТИНГЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОГИСТИКИ

**Гаффор Аллакулович САМАТОВ\***, д.э.н., профессор

**Рустам Гаффарович САМАТОВ**, PhD, катта ўқитувчи

**Шахзода Ровшан қизи ШАРАПОВА**, студентка

Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог

100060, Узбекистан, Ташкент, ул.Амир Темур, 20

Tel.: +998(97) 404-90-56,

\*e-mail: [transportlogistikasi@uz](mailto:transportlogistikasi@uz)

**Аннотация:** Анализируются составные элементы ключевых показателей индекса эффективности логистики предложенной Всемирным банком. Балл полученный Республикой Узбекистан в 2018 году составил 2,58. В ходе анализа установлено, что наибольшую долю (20,0%) внес балл, полученный за организацию своевременной доставки грузов, наименьший – оценка работы таможенных органов (13,5%). Выявлены явно выраженные проблемы и разработаны рекомендации по увеличению позиции Узбекистана.

В частности, эффективность процесса таможенного оформления; качества инфраструктуры; простота организации международных перевозок и конкурентоспособность цен; компетентность работников и качества услуг; своевременность доставки материальных потоков в цепи поставок.

**Ключевые слова:** Индекс эффективности логистики, анализ, процесс, доставка грузов, сервис, международные перевозки, цепь поставок, оценка, провайдер, инфраструктура, контроль, качество услуг.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

За прошедший период в стране, в результате проводимой государственной политики в транспортной сфере, осуществлена масштабная работа по организации эффективной системы транспорта, обеспечивающей запросы экономики и населения в транспортных услугах всеми видами транспорта.

В настоящее время обеспечена пространственная связность всех регионов страны, проведены структурные реформы в сфере пассажирских и грузовых автомобильных и авиационных перевозок, созданы условия для активной и эффективной интеграции в мировое транспортное пространство.

Вместе с тем, транспортная система страны должна решить ряд серьезных проблем, которые снижают её эффективность. Это потребует серьезных институциональных изменений, направленных на совершенствование транспортной политики страны, обеспечение резкого роста качества и объемов пассажирских и грузовых перевозок, снижения их стоимости для потребителей, увеличения объемов транзита грузов через Узбекистан и формирования конкурентоспособного рынка транспортно-логистических услуг, повышения уровня безопасности, экологичности и инновационности всех видов транспорта.

## 2. ЗАДАЧИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Стратегия развития транспортной системы Республики Узбекистан до 2035 предусматривает:

- совершенствование нормативно-правовой базы в транспортной сфере;
- создание условий для резкого роста объемов и качества пассажирских и грузовых перевозок;
- повышение охвата, обеспечение равного доступа для населения и бизнеса, вне зависимости от территориального расположения к услугам транспорта;
- развитие форматов государственно-частного партнерства в сфере развития транспортной инфраструктуры (автомобильные дороги, автовокзалы и автостанции, железнодорожные станции, аэропорты);
- активное внедрение в транспортную сферу инноваций, интеллектуальных транспортных систем, передовых информационно-коммуникационных технологий;
- совершенствование системы управления транспортным сектором, налаживание эффективного взаимодействия между Министерством транспорта Республики Узбекистан и отраслевыми транспортными структурами по вопросам тарифо- и ценообразования, формирования системы мультимодальных грузовых и пассажирских перевозок, формирования единой политики в вопросах международных перевозок и ряд других;
- внедрение в систему образовательных учреждений транспорта принципиально новых подходов к подготовке, переподготовке, повышению квалификации, отбору и развитию работников транспортной системы;

## 3. ИНДЕКС ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОГИСТИКИ

Индекс эффективности логистики (LPI) — это инструмент сравнительного анализа, созданный Всемирным банком, чтобы помочь странам выявить проблемы, с которыми они сталкиваются в сфере логистики, а также то, что они смогут сделать для улучшения своих показателей.

Индекс является средней оценкой шести ключевых показателей:

1. Эффективность процесса обработки грузов органами пограничного контроля в том числе таможенными пунктами (скорость, простота и доступность процедур);
2. Качество торговой и транспортной инфраструктуры (порты, железные дороги, дороги общего пользования, информационные технологии);
3. Конкурентные цены поставок. Простота организации доставки;
4. Компетентность работников (операторов, брокеров) и качество логистических услуг;
5. Возможность отслеживать грузы на протяжении всей цепи поставок. Ее точность.
6. Своевременность доставки грузов и пунктуальность персонала.

Данный индекс присваивается всемирным банком раз в два года, на основе отзывов заинтересованных сторон, проводящих логистические операции в данной конкретной стране, а также имеющих опыт работы по всему миру.

## 4. АНАЛИЗ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УЗБЕКИСТАНА

Последний балл, полученный Республикой Узбекистан, в 2018 году составлял 2,58, а именно:

- Оценка работы таможни – 2,1 или 13,5 % в общей сумме
- Транспортная и торговая инфраструктура – 2,57 или 16,6% в общей сумме
- Стоимость международных перевозок – 2,42 или 15,63% в общей сумме
- Компетентность работников и качество услуг – 2,59 или 16,73 % в общей сумме

- Возможность и точность отслеживания грузов – 2.71 или 17,5% в общей сумме
- Своевременность доставки – 3.09 или 20% в общей сумме

Проведем сравнение всех показателей за 2007 – 2018 года:

Так максимальный балл (2,79) Узбекистан получал в 2010 году, а минимальный (2,16) в 2007.

В 2018 году Узбекистан получил в среднем 2,58 балла, в который наибольшую долю (как и в остальные годы) внес балл, полученный за организацию своевременной доставки грузов.

В анкете опроса всемирного банка за 2018 г. экспертам были заданы следующие вопросы:

1. Ваша должность в компании:
2. Уровень, на котором вы ведете свою деятельность:
3. Сколько сотрудников в вашей компании:
4. Перевозки, с которыми вы чаще всего работаете:
5. Направление, в котором ваша компания ведет основную деятельность:

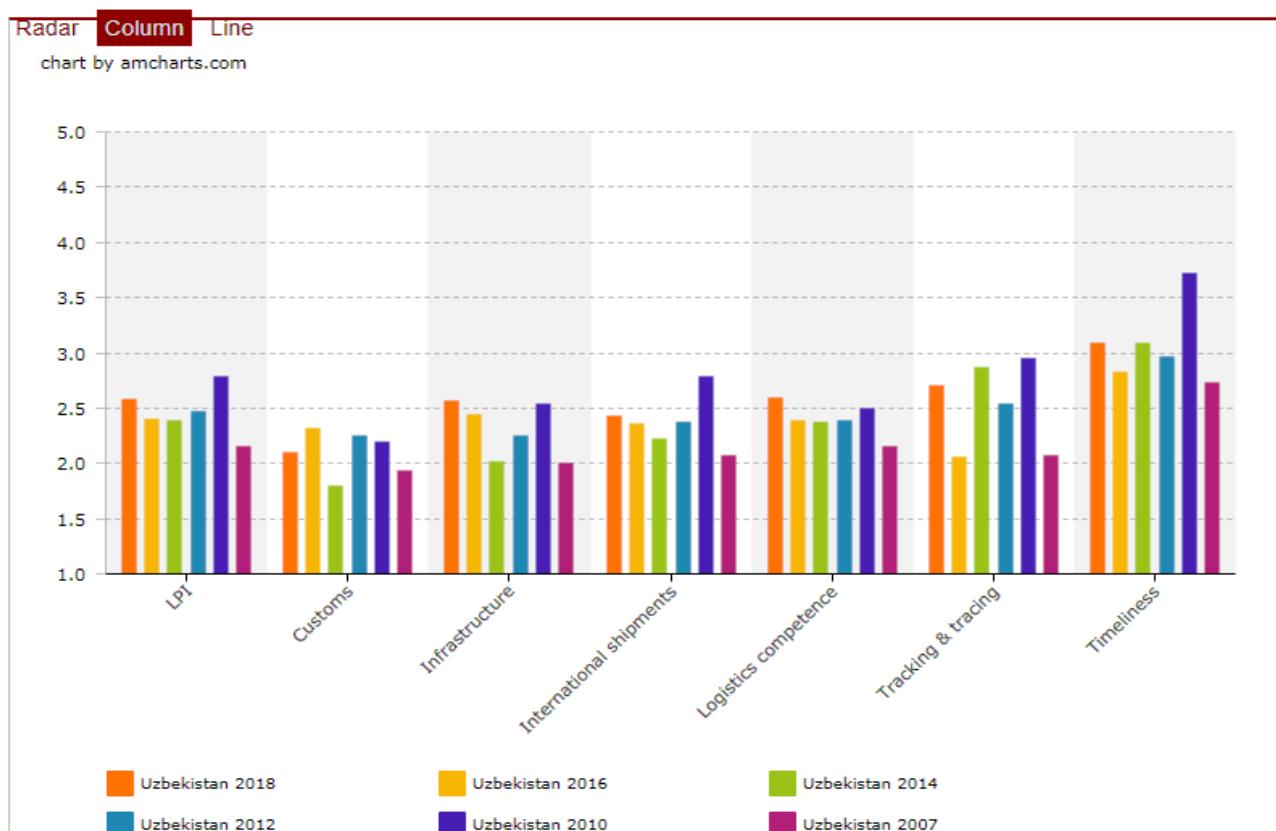


Рисунок-1. Динамика позиций Узбекистана в рейтинге эффективности логистики

6. Основная модель ваших перевозок:
7. С какими странами или регионами вы больше всего работаете:
8. Страна, в которой вы находитесь / работаете:
9. Оцените процесс таможенной очистки груза в каждой из ранее выбранных стран.
10. Оцените качество торговой и транспортной инфраструктуры (порты, железные дороги, автомобильные дороги, информационные технологии и тд.).
11. Оцените простоту организации доставки и конкурентоспособность цен перевозчиков.
12. Оцените качество логистического сервиса и компетенцию персонала.
13. Оцените возможность и точность отслеживания грузов при отправке в ранее выбранные страны.
14. Оцените пунктуальность доставки и возможность доставки “Точно в срок”.
15. Как часто партнеры из выбранных стран просят снизить вредное воздействие на окружающую среду в процессе перевозки (использования транспорта с пониженными вредными выбросами, выбор обездных дорог и тд.).
16. Опираясь на свой опыт в международной логистике, оцените объем сборов в вашей стране:
17. Оцените качество транспортной инфраструктуры в вашей стране (порты, автомобильные дороги, аэропорты, информационные технологии):
18. Оцените компетентность работников и качество сервиса в сфере логистики вашей страны (очень низкая, низкая, средняя, высокая, очень высокая):
19. Оцените эффективность данных процессов в своей стране (практически никогда, редко, иногда, часто, постоянно):
20. По сравнению с 2015 годом какие улучшения или ухудшения вы чувствуете в вашей стране, в приведенных ниже аспектах (сильно ухудшилось, ухудшилось, без изменений, улучшилось, сильно улучшилось):

21. По сравнению с 2015 годом оцените развитие в следующих отраслях вашей страны (сильно снизился, снизился, не изменился, вырос, сильно вырос):
22. Какую схему доставки грузов при экспорте из своей страны вы используете
23. Какую схему доставки грузов при импорте в свою страну вы используете
24. Вы как логистический провайдер имеете индикаторы уровня (качества) обслуживания клиента? Если да, то какой процент доставок, идущих в вашу страну отвечает вашим требованиям?
25. Сколько государственных структур или подразделений взаимодействует с вашим грузом при вашей типичной работе. При экспорте / импорте?
26. Сколько форм вам необходимо заполнить для экспорта / импорта товара из вашей страны?
27. Сколько времени в среднем проходит между принятием таможенной декларации и уведомлением об очистке в вашей стране?
28. Какой основной метод физического обследования грузов применяется на вашей таможне (да, нет, не знаю):
29. Какой в среднем процент грузов подвергается досмотру (например, рентгеновское сканирование) при импорте в вашу страну?
30. Какой процент грузов подвергается досмотру более одного раза при импорте в вашу страну?

На основе анализа анкет опроса Всемирного Банка можно разработать рекомендации по улучшению позиции Узбекистана в рейтинге.

1. На основе доклада всемирного банка в логистической отрасли Республики Узбекистан явно выражены следующие проблемы:
  - Слабая интеграция в европейскую и евразийскую логистическую сеть
  - Недостаток инвестиций в развитие логистической отрасли, особенно информационно – коммуникационную ее часть
  - Слабый рынок 3PL и 4PL услуг
  - Недостаточная квалификация персонала
  - Несовершенный процесс таможенного и пограничного контроля
  - Низкий уровень нормативно – правового регулирования отрасли
  - Отсутствие показателей статического учета развития логистики в масштабах республики
  - Медленное внедрение информационных технологий, как аппаратных, так и программных структур
  - Слабая готовность к современным видам угроз
2. Так же существуют и внутренние проблемы, препятствующие развитию логистики:
  - Отсутствие стратегии развития логистики
  - Отсталость транспортной инфраструктуры, невысокая по сравнению с другими странами скорость доставки
  - Высокая степень износа подвижного состава и объектов транспортной инфраструктуры
  - Низкий уровень развития производственно-технической базы складского хозяйства

В связи с этим, для расчета реального индекса логистики Узбекистана, необходимо провести анализ факторов, влияющих на оценку рейтинга Узбекистана установленный Всемирным банком.

Так, среди 24 документов, указанных Всемирным банком как необходимые при проведении экспортно-импортных операций в Узбекистане, по 10 документам нет законодательно закрепленного требования их обязательного предоставления в органы ГТК. Тем не менее, результаты социологического опроса подтвердили данные Всемирного банка о том, что многие участники ВЭД были вынуждены оформлять эти документы.

Даже если не учитывать этот фактор (случаи законодательно не установленного требования документов в Узбекистане), всё равно во многих странах мира субъекты ВЭД подают в государственные органы, в том числе таможенные, в среднем почти в 2 раза меньше документов, чем в республике (см. рис 2).

Это связано с тем, что большинство процедур, в отношении которых в Узбекистане законодательно установлены требования их оформления при экспортно-импортных операциях, не входят в перечень разрешительных документов, предъявление которых необходимо для осуществления ВЭД в развитых странах мира. Как правило, в этих государствах к таким документам относятся: (1) коносамент (погрузочный документ); (2) коммерческий инвойс; (3) экспортная или импортная таможенная декларация; (4) упаковочный лист. Для большинства же стран СНГ, включая Узбекистан, кроме этого, требуется также представить: (1) транспортную накладную; (2) контракт; (3) транзитный документ; (4) сертификат происхождения (или соответствия) и другие документы.

Для осуществления всех экспортных операций требуется 54 дня, которые складываются из временных затрат на: (1) подготовку документов - 22 дня; (2) таможенное оформление и технический контроль - 4 дня; (3) портовую и терминалльную обработку - 3 дня; (4) обработку и перевозку грузов наземным транспортом до морского порта - 25 дней, см. таблицу 1.

С другой стороны, согласно результатам социологического исследования затраты участников ВЭД на осуществление экспортной деятельности в среднем составляют 4483 долл. США, а время для реализации всех экспортных операций - 42 дня. Такое расхождение с данными Всемирного банка связано с различиями в оценке:

- расходов на обработку и перевозку наземным транспортом до морского порта, которые по результатам опроса составили в среднем 3191,2 долл. США;

-временных издержек на подготовку документов, которые по результатам опроса составили в среднем 8 дней.

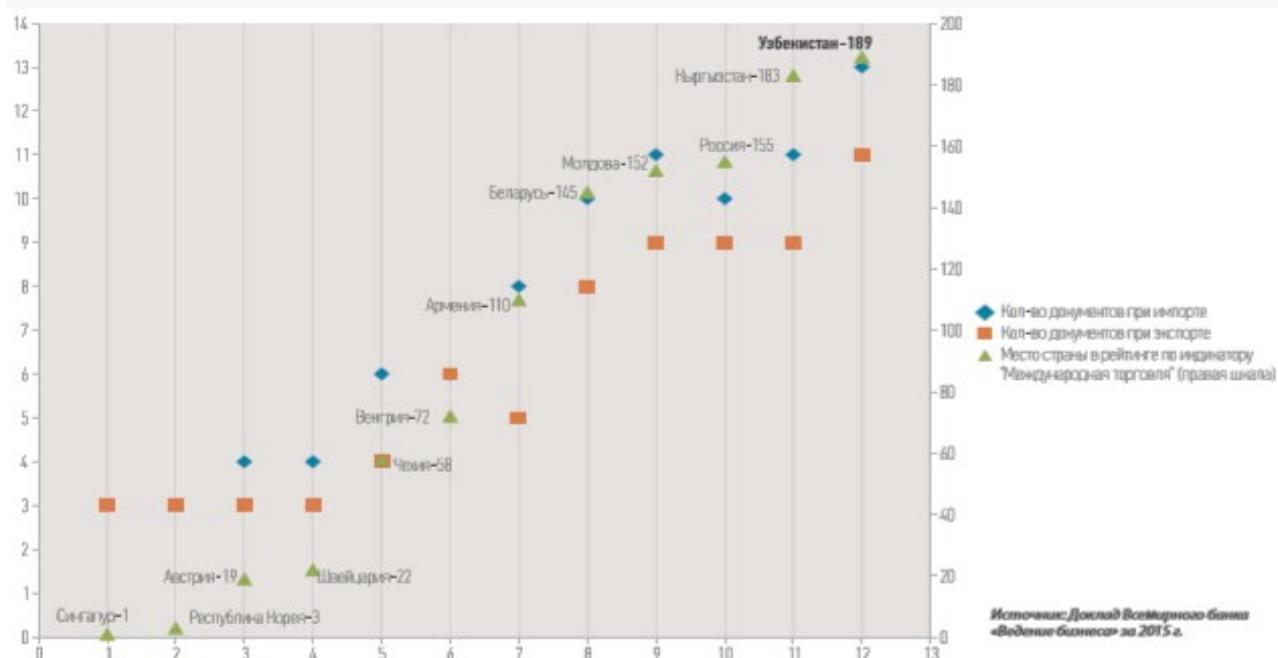


Рис 2. Сравнение стран по рейтингу показателя «Международная торговля» и количеству требуемых документов при осуществлении экспортно-импортных операций.

Таблица 1.

Сравнение времени издержек субъектов ВЭД на осуществление экспортных процедур по результатам социологического опроса.

Перечень процедур	Результаты оценки в докладе «Ведение бизнеса» за 2015 г.	Результаты опроса
Подготовка документов	22	8
Таможенное оформление и технический контроль	4	4
Портовая и терминальная обработка	3	7
Обработка и перевозка наземным транспортом	25	23
Всего:	54	42

## 5. ВЫВОДЫ

Таким образом, исходя из вышеизложенного можно предпринять следующие пути решения поставленных задач:

1. Эффективность процесса таможенного оформления:
  - Необходимо активно внедрять инструменты электронного документооборота. Максимально снижать время перехода документа между инстанциями, а также количество самих инстанций и надзорных органов;
  - Совершенствовать и дорабатывать механизм "Единого окна". Интегрировать данный функционал в общую информационную базу государственных услуг. Снизить порог вхождения для малых предприятий. Проводить тренинги по разъяснению работы новых систем и повышать информационную грамотность людей;
  - Разработать механизм более тесного взаимодействия с таможенными органами Азии и Европы;
  - В разы ускорить время прохождения пограничных пунктов автомобильным транспортом и довести его до среднего по Европе. Внедрить механизм электронных очередей, организовать стоянки для большегрузных транспортных средств и сопутствующую инфраструктуру;
  - На складах внедрить механизм умной консолидации грузов, тем самым снизив время на простой под погрузкой/разгрузкой. Ввести механизм штрафов для водителей, являющихся за грузом не в свое время;
  - Провести законодательную реформу, повысив ответственность сотрудников таможенных органов за должностные преступления;
  - Вести постоянную работу со статистическими данными, предугадывая возможные потоки и объемы грузов;
  - Ввести понятную и простую оценочную систему показателей для контроля работы как таможенного терминала целиком, так и каждого сотрудника в частности;
    - Упростить процедуру досмотра, не вскрывать контейнеры с грузом без особых оснований;
    - При возможности закупить рентгеновское оборудование для досмотра контейнеров без вскрытия с автоматическим определением запрещенных грузов.

**2. Качество инфраструктуры:**

- Обновить парк грузовых автотранспортных средств. При обновлении учитывать ЕВРО стандарты;
- Развитие придорожного сервиса. Строительство заправок вдоль магистралей, парковок в черте города;
- Разработка стратегии развития грузовых перевозок;
- Консолидация работы мелких перевозчиков;
- Упрощение визового режима;
- Снижение стоимости и повышения качества топлива, особенно за пределами крупных городов;
- Увеличения зоны покрытия сотовой связи 3 и 4 поколения. Покрытие отдаленных регионов;
- Ориентироваться при развитии инфраструктуры на такие страны как Канада, Индонезия, Марокко, Таиланд, Индия.

**3. Простота организации международных перевозок. Конкурентоспособность цен:**

- Ускорить согласование планов перевозки
- Иметь в распоряжении подвижной состав для различных видов перевозок
- Ликвидировать участки оформления, дающие почву для коррупционной деятельности

**4. Компетентность работников и качество услуг:**

- Подбор квалифицированного логистического персонала;
- Повышения уровень квалификации существующих сотрудников;
- Набор менеджеров по логистике с опытом работы в других странах;
- Повышения уровня квалификации существующих сотрудников по надзору за логистикой;
- Развитие и повышения качества профессионального образования в логистике;
- Запуск частных курсов и сертификаций в сфере логистики;
- Введение логистического образования в университетах;
- Сертификация логистических навыков;
- Повышение роли международных и республиканских ассоциаций в функционировании логистической сферы;
- Повышение привлекательности отрасли для молодых специалистов;
- Проведение грамотной работы по подбору персонала.

**5. Возможность отслеживания грузов:**

- Повысить точность отслеживания грузов в пространстве. Закупить современные GPS, ГЛОНАСС приемники

- Оборудовать транспортные средства дополнительными средствами мониторинга. Такими как контроль расхода топлива, контроль трудового распорядка водителя в пути.
- Оборудование фургонов и контейнеров датчиками герметичности, электронными пломбами
- Закрепление на грузе специальных наклеек – индикаторов, для контроля груза на предмет перегрузок, ударов, переворотов

**6. Своевременность доставки грузов:**

По данному пункту Узбекистан получил сравнительно высокую оценку, в следствии чего он не требует отдельных мер и необходима реализация планов по предыдущим направлениям чтобы они позитивно сказались и на этом критерии.

Для более эффективного использования транспортно-транзитного потенциала страны и снижения издержек субъектов ВЭД Узбекистана необходимо создание условий для более тесной интеграции национальной транспортной системы с новыми международными транспортными коридорами. Для этого необходимо:

- формирование новых транспортных коридоров «Узбекистан - Туркменистан - Иран - Оман» и «Термез - Мазари-Шариф - Андхой - Герат - Иран» и активизация рассмотрения вопроса о строительстве железной дороги «Герат - Андхой - Мазари-Шариф»;

- создание международного железнодорожного коридора «Европа- Узбекистан-Китай» через реализацию проекта строительства железной дороги «Узбекистан-Кыргызстан-Китай»;

- увеличение пунктов пропуска на таможенных границах Узбекистана, в целях снятия перегрузки действующих пунктах;

- повышение транзитной привлекательности Узбекистана за счет совершенствования и упрощения таможенных процедур и развития логистических услуг, в том числе, современных информационных систем управления контейнерными терминалами, осуществляющими учет контейнерного парка, движение контейнеров, контроль за процедурой оформления перевозочных документов и т.п.

- усиление политического взаимодействия в этой сфере с Китаем и Россией, а также с соседними государствами Центральной Азии, что будет способствовать развитию региональной транспортной инфраструктуры и достижению соглашений о трансграничном сотрудничестве с учетом национальных интересов Узбекистана.

Здесь важно отметить, что эффективность достижения вышеуказанных целей будет сильно зависеть от степени участия всех стран региона в процессах гармонизации таможенных и трансграничных процедур,

## **6. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Постановление Президента Республики Узбекистан от 5 февраля 2019 года № ПП-4160 «О дополнительных мерах по улучшению рейтинга Республики Узбекистан в ежегодном отчете Всемирного банка и Международной финансовой корпорации «Ведение бизнеса». [In Russian: *Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated February 5, 2019 No. PP-4160 “On additional measures to improve the rating of the Republic of Uzbekistan in the annual report of the World Bank and the Doing Business International Finance Corporation”*].
2. Постановление Президента Республики Узбекистан №-4210 25.02.2019 “О мерах по повышению позиций республики Узбекистан в международных рейтингах и индексах” [In Russian: *Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. 4210 02/25/2019 “On measures to increase the position of the Republic of Uzbekistan in international ratings and indices”*].
3. Указ Президента Республики Узбекистан от 1 февраля 2019 года № УП-5647 «О мерах по коренному совершенствованию системы государственного управления в сфере транспорта»[In Russian: *Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated February 1, 2019 No. UP-5647 “On measures to radically improve the public administration system in the field of transport”*].
4. Доклад всемирного банка от 2018 года. Connecting to Compete. Trade Logistics in the Global Economy [In Russian: *World Bank Report of 2018*.
5. [https://en.wikipedia.org/wiki/Logistics\\_Performance\\_Index](https://en.wikipedia.org/wiki/Logistics_Performance_Index).
6. [https://www.uz.undp.org/content/dam/uzbekistan/docs/Publications/economicgovernance/Analytical\\_Report\\_Trading\\_across\\_borders/un\\_uzb\\_Analytical\\_Report\\_Trading\\_across\\_borders.pdf](https://www.uz.undp.org/content/dam/uzbekistan/docs/Publications/economicgovernance/Analytical_Report_Trading_across_borders/un_uzb_Analytical_Report_Trading_across_borders.pdf).

## COLD ASPHALT CONCRETE WITH ADDITIVES OF COMPLEX ORGANIC BINDERS

**A.M. KARABAEV**, candidate of technical sciences, dosent  
 Tashkent Institute of Railway Engineers  
 1, Adylkhodjaev str., Tashkent, Uzbekistan, 100167,  
 Tel +998 (71) 299-03-02  
 E-mail: ab.karabayev@gmail.com

**Annotation:** The article is devoted to the physic-mechanical properties of cold asphalt concrete based on improved additives of complex organic binders. It uses cold bituminous concrete on liquid bitumen for road repair work in the autumn-spring periods of the year. The average density, volume fraction of water saturation, swelling, compressive strength, water resistance coefficient, caking properties of samples from cold asphalt mixtures were tested by the standart method. It was found that the compressive strength at 20 C 1,23-1,33 times and the strength of water-saturated samples is 1,25-1,37 times higher, water saturation 1,15-1,35 times, swelling 1,15-1,45 times less compared to control values. The above results of the shear characteristics of asphalt concrete show that shear resistance increases than conventional mixtures at 20 C to 10%, at 50 C to 37%.

**Keywords:** cold asphalt concrete, complex organic binding agent, strength, bitumen, composition, density, sample, coefficient of variation, coefficient of homogeneity, physical and mechanical properties.

### КОМПЛЕКС ОРГАНИК ҚЎШИМЧАЛИ СОВУҚ АСФАЛТБЕТОН

**А.М. КАРАБАЕВ**, т.ф.н., доцент  
 Тошкент темир йўл мұхандислари институти  
 100167, Ўзбекистон, Тошкент, Одилхўжаев кўч., 1  
 Тел +998 (71) 299-03-02  
 E-mail: ab.karabayev@gmail.com

**Аннотация:** Мақола қўшимчалар билан яхшиланган комплекс органик боғловчи асосидаги совуқ асфальтбетоннинг физик-механик хоссаларига бағишиланган. Суюқ битум билан тайёрланган совуқ асфальтбетон йилнинг куз-баҳор даврларида йўлни таъмирлаш ишларида қўлланилади. Совуқ асфальтбетон қоришмасидан олинган намунанинг ўргача зичлиги, сувга тўйинувчанлиги, шишиши, сиқилишдаги мустаҳкамлик чегараси, сувга чидамлилик коэффициенти, ётқизувчанлиги стандарт усуулларда синалган. Намуналарнинг 20 °C да мустаҳкамлик чегараси 1,23-1,33 ва сувга тўйинган намуналарнинг мустаҳкамлиги 1,25-1,37 баробар назорат кўрсаткичларга нисбатан юкори, сувга тўйинувчанлиги 1,15-1,35, шишиши 1,15-1,45 баробар кичикилиги аниқланди. Асфальтбетоннинг сурилувчанлиги бўйича келтирилган натижалар шуни кўрсатадики, сурилувчанлик оддий қоришмага нисбатан 20 °C да 10 фоизга, 50 °C да эса 37 фоизга ошди.

**Калит сўзлар:** совуқ асфальтбетон, комплекс органик боғловчи, мустаҳкамлик, битум, таркиб, зичлик, намуна, вариация коэффициенти, бирхиллик коэффициенти, физик-механик хосса.

### ХОЛОДНЫЙ АСФАЛЬТОБЕТОН С ДОБАВКАМИ КОМПЛЕКСНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ

**А.М. КАРАБАЕВ**, к.т.н., доцент  
 Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта  
 100167, Узбекистан, Ташкент, ул.Адылхаджаева, 1  
 Тел. +998(71) 299-03-02  
 E-mail: ab.karabayev@gmail.com

**Аннотация:** Холодный асфальтобетон на жидком битуме используется для ремонта автомобильных дорог в осенний и весенний периоды года. Статья посвящена изучению физико-механических свойств холодного асфальтобетона модифицированного комплексными добавками на основе органических вяжущих и рассмотренного с позиций полиструктурной теории. Средняя плотность, объёмная доля водонасыщения, набухания, предел прочности при сжатии, коэффициент водостойкости, слеживаемость образцов из холодной асфальтобетонной смеси испытан стандартным методом. Выявлен, что прочность на сжатие при 20 °C 1,23-1,33 раза и прочность водонасыщенных образцов на 1,25-1,37 раза больше, водонасыщения 1,15-1,35 раза, набухания 1,15-1,45 раза меньше в сравнении с контрольными значениями. Приведенные результаты сдвиговых характеристик асфальтобетона показывает, что сдвигостойчивость увеличивается, чем обычные смеси: при 20 °C на 10 %, при 50 °C на 37 %.

**Ключевые слова:** холодный асфальтобетон, комплексное органическое вяжущее, прочность, битум, состав, плотность, образец, коэффициент вариации, коэффициент однородности, физико-механические свойства.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Асфальтобетон, в том числе холодный, представляет собой композиционный строительный материал (КСМ), поэтому закономерности формирования их структуры и свойств вполне правомерно рассматривать с позиций полиструктурной теории.

Полиструктурная теория, как единая система научных представлений о закономерностях структурообразования, технологии и свойств строительных композитов получила признание и интенсивное развитие в последние годы [1].

Сущность теории в представлении материала полиструктурным, т.е. в выделении в единой структуре многих взаимозависимых структур – от атомного уровня до грубых составных структур цельных строительных элементов - прорастающих одна в другую.

В рамках полиструктурной теории впервые четко определены основные структурообразующие факторы для каждого структурного уровня и получены количественные зависимости.

Принцип полиструктурности открывает путь к направленному изменению и формированию требуемых физико-технических свойств этого материала и к назначению его рациональной технологии.

Холодный асфальтобетон представляет собой разновидность асфальтового бетона, в котором использованы маловязкие – жидкые или разжиженные вязкие битумы, вследствие чего масса холодного асфальтобетона укладывается при температуре окружающего воздуха. Кроме маловязких битумов, могут использоваться также битумные эмульсии [2-4].

## 2. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ХОЛОДНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА

Средняя плотность, объемная доля водонасыщения, набухание, предел прочности при сжатии, коэффициент водостойкости, слеживаемость образцов из холодной асфальтобетонной смеси определяются стандартными методами.

Образцы цилиндрической формы ( $h=d=71,4$  мм) изготавливали путем уплотнения смесей. Холодные смеси и формы перед уплотнением не нагревали. Уплотнение образцов производили прессованием под давлением 40 МПа.

Сдвигостойчивость определяли при максимальных нагрузках и соответствующих им предельных деформациях на стандартных цилиндрических образцах при двух напряженно - деформированных состояниях (рис. 1.) при одноосном сжатии (1) и при сжатии специальным обжимным устройством по схеме Маршалла (2).

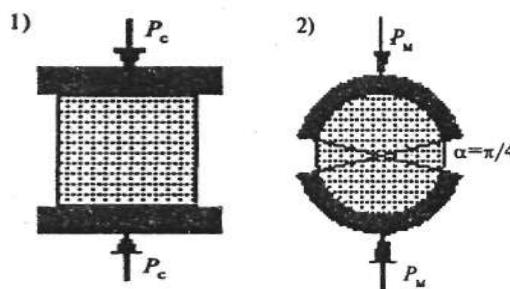


Рис. 1. Схема испытания образцов на сдвигостойчивость.

Перед испытанием 6 образцов выдерживали в течение 1 часа при заданной температуре ( $50\pm2$ )°C в воде. Три образца предназначаются для испытания по первой схеме нагружения, остальные – по второй.

Для каждого образца, испытанного на одноосное сжатие и на сжатие по схеме Маршалла, вычисляли работу A, Дж, затраченную на разрушение, по формуле

$$A = \frac{P l}{2}, \quad (1)$$

где P - разрушающая нагрузка, кН;

l - предельная деформация, мм.

Коэффициент внутреннего трения асфальтобетона  $\text{tg}\varphi$  вычисляли по формуле

$$t \varphi = \frac{3(A_m - A_c)}{3A_m - 2A_c}, \quad (2)$$

где  $A_m$ ,  $A_c$  – средняя работа деформирования образцов асфальтобетона при испытании соответственно по схеме Маршалла и при одноосном сжатии, Дж.

Лабораторный показатель сцепления при сдвиге  $C_s$ , МПа, вычисляли по формуле

$$C_s = \frac{1}{6} (3 - 2t \varphi) R_c, \quad (3)$$

где  $R_c$  – предел прочности при одноосном сжатии, определенный при скорости движения плиты пресса ( $3\pm0,3$ ) мм/мин.

### 3.1. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХОЛОДНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА

Прочность асфальтобетонов – это предельное напряжение, при котором нарушается сплошность материала.

Рассмотрим, от каких факторов зависят два параметра – сцепление и угол внутреннего трения, которыми определяется прочность асфальтобетона. Сцепление зависит в основном от вязкости исходного битума (а точнее, от его когезионной прочности, прочности связей между структурными элементами битума), соотношения битум - минеральный порошок, характера взаимодействия битума с минеральными материалами. Чем выше вязкость битума, тем больше сцепления, а следовательно, и выше прочность асфальтобетона. С увеличением количества битума сверх оптимального, снижается сцепление [5-6].

На величину внутреннего трения асфальтобетона оказывают влияние гранулометрический состав минеральной смеси, форма и характер поверхности минеральных частиц. С увеличением размера частиц внутреннее трение увеличивается. Форма и характер поверхности частиц оказывают значительное влияние на величину внутреннего трения [7].

Таким образом, асфальтобетон, содержащий щебень и дробленый песок, имеет значительное внутреннее трение, следовательно, и более высокую прочность в сравнении с асфальтобетоном, приготовленным из гравия и окатанного речного песка. В нашем случае, соблюдены вышеуказанные положения.

Все сопоставления величин внутреннего трения имеют смысл лишь в том случае, когда в сравниваемых смесях содержится оптимальное количество битума. При избыточном содержании битума снижается не только внутреннее трение, но и сцепление. Поэтому наличие в асфальтобетоне большого количества свободного битума приводит к резкому снижению прочности.

При оптимальном содержании битума холодный асфальтобетон обладает определенной пористостью.

Если в асфальтобетоне не будет свободных пор, то при повышении температуры увеличивающийся в объеме битум вызовет его разуплотнение. Кроме того, битум не выступает на поверхность покрытия.

В табл. 1 приведены составы КОВ и смеси на его основе, даны показатели, как плотность, водонасыщение, набухание, предел прочности на сжатие при 20 °C - R<sub>20</sub>, предел прочности водонасыщенного образца - R<sub>вод</sub>, коэффициент водостойкости - K<sub>в</sub>. Для сравнения свойств разработанных составов изготовлены образцы на традиционном жидким битуме следующего состава, в %:

БНД 90/130	- 70
МАЗУТ	- 30

На рис. 2. - 5. для наглядного отражения данных табл. 1 показаны диаграммы изменения показателей водонасыщения, набухания, предела прочности на сжатие при 20°C, предела прочности образцов в водонасыщенном состоянии. Если за контрольное значение свойств холодного асфальтобетона принять, как показатели асфальтобетона на жидким битуме: R<sub>20</sub> = 1,0 МПа, R<sub>вод</sub> = 0,8 МПа, W = 8,88 %, H = 1,38 %, то в результате их сравнения с другими данными, очевидным становится преимущество разработанных составов. Например, прочность на сжатие при 20 °C 1,23 - 1,33 раза и прочность водонасыщенных образцов на 1,25 - 1,37 раза больше, водонасыщения 1,15 - 1,35 раза и набухания 1,15 - 1,45 раза меньше для составов 2, 3 и 4 (КОВ на основе нефти и ГС), а также соответственно R<sub>20</sub> – 1,43 - 1,63 раза, R<sub>вод</sub> – 1,45 - 1,6 раза больше, W – 1,45 - 1,7 раза, H – 1,8 - 2,5 раза ниже для составов 5, 6 и 7. (КОВ на основе битума и ГС) в сравнении с контрольными значениями [8-13].

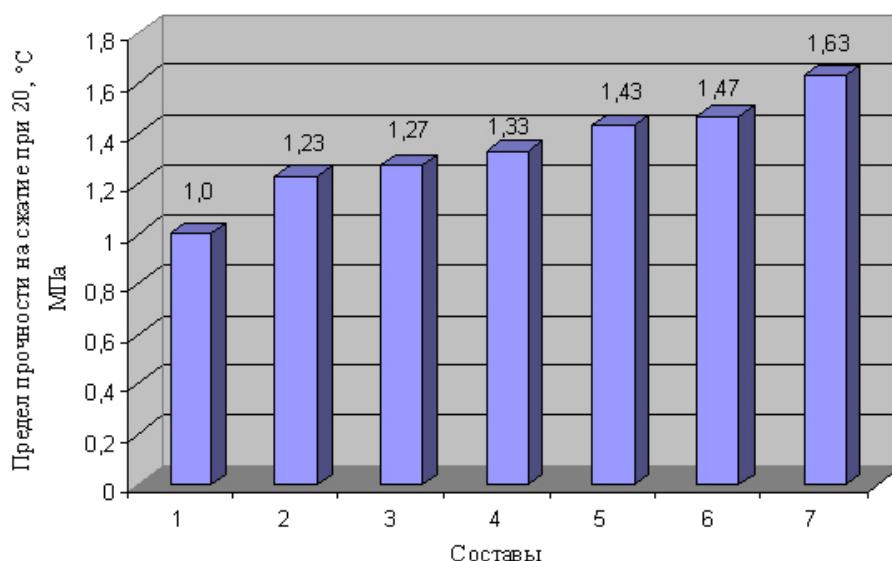


Рис. 2. Диаграмма изменения прочности на сжатие асфальтобетонного образца отдельных составов.

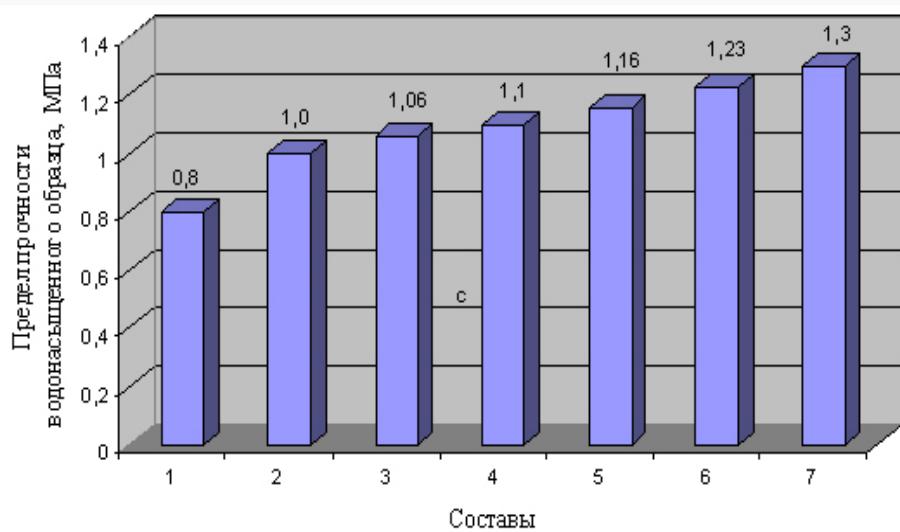


Рис. 3. Диаграмма изменения прочности водонасыщенного асфальтобетонного образца отдельных составов

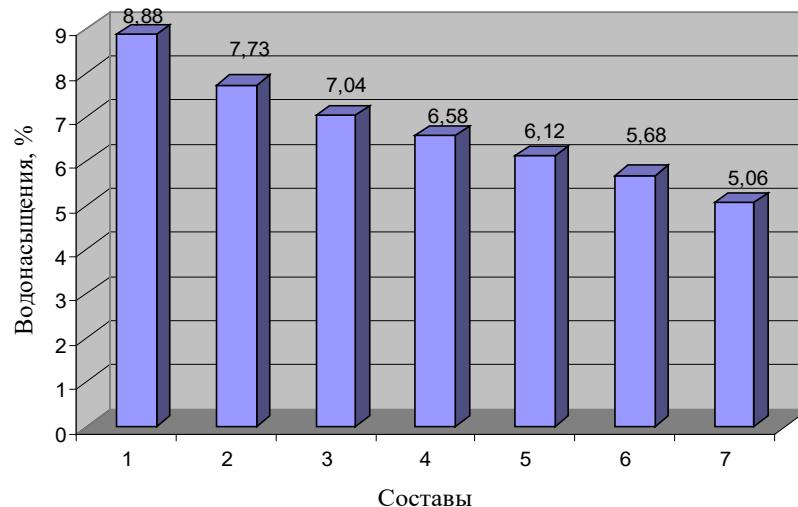


Рис. 4. Диаграмма изменения водонасыщения асфальтобетонного образца отдельных составов.

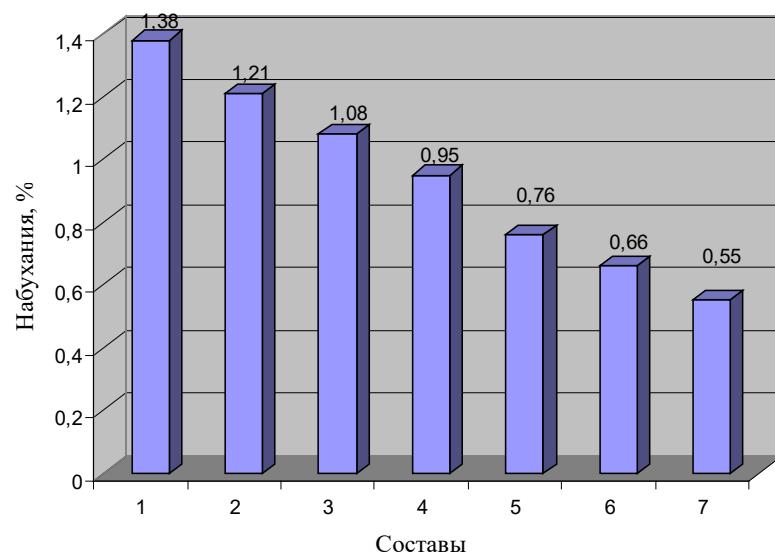


Рис. 5. Диаграмма изменения набухания асфальтобетонного образца отдельных составов.

Таблица 1

## Составы и свойства холодного асфальтобетона на основе КОВ

№ № п/п	Составы КОВ, %	Состав асфальтобетона, %	q <sub>0</sub> , г	q <sub>1</sub> , г	q <sub>2</sub> , г	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub> , г	q <sub>3</sub> , г	q <sub>4</sub> , г	q <sub>3</sub> -q <sub>4</sub> , г	ρ <sub>o</sub> , г/см <sup>3</sup>	W, (%)	H, (%)	R <sub>20</sub> , МПа	R <sub>90д</sub> , МПа	K <sub>в</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Жидкий битум БНД - 70 Мазут - 30	Щ - 48 П - 41,6 МП - 10,4 ЖБ - 5,5	641,6 642,1 648,4 637,7	656,6 652,4 648,4 367,9	374,3 369,5 280,5	282,3 282,9 280,5	669,4 666,0 661,2	383,1 379,3 376,8	286,7 284,4 282,4	2,11 2,18 2,19	9,85 8,4 8,38	1,42 1,34 1,39	1,1 0,9 1,0	0,8 0,7 0,9	0,6 0,6 0,7
2	TH - 58 ГС - 42 НПГИ - 10 от ГС	Щ - 48 П - 41,6 МП - 10,4 КОВ - 4,5	638,5 635,4 642,6 655,3	653,1 656,1 642,6 379,6	379,1 376,0 274,1 275,7	274,0 274,1 275,7	660,3 657,5 662,4	382,8 380,4 383,3	277,5 277,2 279,1	2,16 2,12 2,15	7,96 8,06 7,18	1,27 1,13 1,23	1,1 1,3 1,3	0,9 1,0 1,1	0,7 0,6 0,7
3	TH - 58 ГС - 42 НПГИ - 10 от ГС	Щ - 48 П - 41,6 МП - 10,4 КОВ - 5,5	640,3 638,2 632,8	652,3 652,4 643,4	378,6 379,0 369,3	273,7 273,4 274,1	659,4 658,4 651,3	383,2 382,0 373,8	276,2 276,4 277,5	2,14 2,17 2,17	6,98 7,39 6,75	0,91 1,10 1,24	1,2 1,3 1,3	1,0 1,1 1,1	0,7 0,8 0,6
4	TH - 58 ГС - 42 НПГИ - 10 от ГС	Щ - 48 П - 41,6 МП - 10,4 КОВ - 6,5	637,9 640,1 637,8	647,3 651,7 645,7	375,5 375,4 372,8	271,8 276,3 272,9	656,8 661,8 657,0	382,4 382,9 381,5	274,4 278,9 275,5	2,18 2,17 2,14	6,95 5,77 7,03	0,96 0,94 0,95	1,2 1,4 1,4	1,1 1,1 1,1	0,7 0,8 0,7
5	БНД - 50 ГС - 47 Дефекат-3,0	Щ - 48 П - 41,6 МП - 10,4 КОВ - 4,5	641,5 641,4 646,6	674,9 672,1 677,5	386,5 385,9 391,2	288,4 286,2 286,3	661,4 658,7 662,1	370,8 368,2 373,5	290,6 290,5 288,6	2,17 2,15 2,19	6,90 6,04 5,41	0,76 0,73 0,80	1,3 1,5 1,5	1,1 1,2 1,1	0,7 0,8 0,7
6	БНД - 50 ГС - 47 Дефекат-3,0	Щ - 48 П - 41,6 МП - 10,4 КОВ - 5,5	647,7 642,9 647,3	657,9 657,4 665,5	366,7 369,5 376,6	291,2 287,9 288,9	665,2 659,5 662,6	372,2 369,6 371,8	293,0 289,9 290,8	2,19 2,18 2,19	6,01 5,74 5,30	0,62 0,69 0,66	1,4 1,5 1,5	1,2 1,2 1,3	0,7 0,7 0,9
7	БНД - 50 ГС - 47 Дефекат-3,0	Щ - 48 П - 41,6 МП - 10,4 КОВ - 6,5	646,2 642,1 640,4	676,1 673,4 673,6	390,4 388,1 389,5	285,7 285,3 284,1	660,3 657,8 653,9	373,2 371,0 368,0	287,1 286,8 285,9	2,19 2,19 2,19	4,94 5,50 4,75	0,49 0,53 0,63	1,5 1,7 1,7	1,3 1,4 1,2	0,8 0,8 0,9
8	ГОСТ 9128 - 2009										-	5-9	-	1,1-1,5	0,7

Примечание. Условные обозначения: БНД- БНД 60/90,Щ-щебень, П-песок, МП-минеральный порошок, ЖБ-жидкий битум, ТН-тяжёлая нефть, ГС-госспиловая смола, НПГИ- недопал после гашения известки.

### 3.2. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ХОЛОДНОЙ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Согласно ГОСТ 12801-98 оценка качества приготовления холодной асфальтобетонной смеси производится по коэффициентам вариации и однородности, как показатель водонасыщения (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициент вариации и коэффициент однородности по показателям водонасыщения - W

№№ составов по табл. 1	Количество образцов	M	$\sigma$	C	$M_{min}$	$K_{od}$
2	30	7,73	0,7122	9,21	6,67	0,741
3	30	7,04	0,6533	9,28	6,70	0,744
4	30	6,58	0,5974	9,08	6,61	0,734
5	30	6,12	0,5069	8,28	6,22	0,691
6	30	5,68	0,4587	8,08	6,12	0,680
7	30	5,06	0,4664	9,22	6,67	0,741

Примечание. M – среднее значение водонасыщения;  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение; C – коэффициент вариации;  $M_{min}$  – наименьшее статически вероятное значение;  $K_{od}$  – коэффициент однородности.

Анализ ее результатов показал, что наименьший коэффициент вариации соответствует составу холодного асфальтобетона с КОВ 130/200 на основе нефти и ГС. Составы 3 (C=9,28 %), 7 (C=9,22 %) и 2 (C=9,21 %) характеризуются высокими коэффициентами вариации. Так, коэффициент однородности для состава 6, равен 0,680, а для состава 5 –  $K_{od} = 0,691$ . Как видно, коэффициенты однородности составов 5 и 6 приблизительно одинаковы, а по абсолютной величине ниже коэффициентов однородности составов 2, 3 и 7 (в 1,08 – 1,09 раза).

Можно отметить, что разработанные составы холодного асфальтобетона имеют высокий коэффициент однородности, что обуславливает их применение в качестве конструкционного покрытия автомобильных дорог.

### 3.3. СДВИГОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛЫ ХОЛОДНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА

При высокой летней температуре на асфальтобетонных покрытиях могут появляться и развиваться пластические деформации в виде волн и сдвигов, и в этом случае сдвиговые показатели прочности важнее показателей прочности при сжатии [14].

Сдвиги и волны появляются и развиваются на покрытии под влиянием многократно - повторных колесных нагрузок, каждая из которых оставляет остаточную деформацию. Постепенное накопление остаточных деформаций приводит к пластическим деформациям недопустимого размера.

Сопротивление асфальтобетона сдвигающему воздействию колес при торможении автомобилей определяется уравнением Кулона [15]:

$$R_{\text{сдв}} = P \cdot \operatorname{tg}\varphi + C_3 + C_B$$

где  $R_{\text{сдв}}$  – сопротивление сдвигу, МПа;

$P$  – давление автомобильного колеса, МПа;

$\varphi$  – угол внутреннего трения, град;

$C_3$  – взаимное зацепление крупных зерен в асфальтобетоне при сдвиге, МПа;

$C_B$  – сила связывания минеральных зерен асфальтовяжущим.

Величина Р примерно равна давлению воздуха в шинах автомобильных колес, т.е. 0,2 МПа для легковых автомобилей и до 0,6 МПа для грузовых.

Особое значение приобретает сдвигостойчивость асфальтобетонных покрытий в условиях жаркого климата [16, 17]. Нормируемая ГОСТ 9428 - 2009 прочность асфальтобетона при температуре 50°C не отражает условий работы покрытий в районах с жарким климатом и не обеспечивает их необходимой сдвигостойчивости. Проведенные исследования показывают, что прочность асфальтобетона при температуре 70 - 75°C снижается в сравнении с прочностью при температуре 50°C на 20 - 50 % (в зависимости от вида асфальтобетона и количества содержащегося в нем свободного битума).

В стандарте и других технических изданиях не указывается вид песка для асфальтобетона типов Б<sub>x</sub> и В<sub>x</sub>, следовательно, возможно применение любого из песков - природного, дробленого или шлаки фракции до 5 мм.

В АПО «Узметкомбинат» скопилось более трех миллионов тонн шлакоотходов. В настоящее время на комбинате функционирует дробильно-сортировочный цех, который одновременно извлекает металлом из отхода и выпускает переработанный шлак фракции до 5 мм.

Несмотря на то, что Республика Узбекистан обладает огромными запасами минеральных материалов, целесообразность использования шлаков объясняется экологической, экономической и технической эффективностью.

В условиях сухого жаркого климата республики Узбекистан, где высокая летняя температура в слое покрытия достигает 70°C, следует применять в холодных смесях шлак фракции до 5 мм (наподобие дробленого песка), что повышает сдвигостойчивость покрытия.

В табл. 3 приведены результаты исследования свойств холодного асфальтобетона с песком и со шлаком фракции до 5 мм.

Таблица 3

Наименование свойств	Показатели свойств асфальтобетона на основе КОВ вязкостью, с			
	115		190	
	с природным	со шлаком	с природным	со шлаком
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,33	2,34	2,34	2,35
Водонасыщение, %				
- до прогрева	3,12	3,21	3,85	3,73
- после прогрева	2,97	2,88	3,22	3,76
Набухание, %				
- до прогрева	0,71	0,19	0,42	0,18
- после прогрева	0,24	0,17	0,14	0,11
Прочность при сжатии, при 20 °С, МПа,				
- до прогрева	1,33	1,68	1,63	1,79
- после прогрева	1,53	1,75	1,71	1,85
Коэффициент водостойкости				
- до прогрева	0,82	0,91	0,86	0,96
- после прогрева	0,88	0,93	0,89	0,94
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	0,55	0,67	0,63	0,79
Прочность при расколе, при 0 °С, МПа	0,30	0,37	0,34	0,40
Слеживаемость по числу ударов	6-7	5-6	9-11	7-8
Прочность при сдвиге, при 20 °С, МПа	1,85	2,03	1,89	2,14
Прочность при сдвиге, при 50 °С, МПа	0,74	0,95	0,82	0,99

Замена природного песка на шлак фракции до 5 мм повышает прочность на 10 - 12 %. Из данных табл. 3 особенно видно, что шлак уменьшает слеживаемость смеси на 30 %.

Сдвигостойчивость холодного асфальтобетона со шлаком значительно выше, чем остальные составы холодного асфальтобетона. Сдвигостойчивость увеличивается, чем обычные смеси, при 20 °С на 10 %, при 50 °С на 37 %.

В табл. 4 и рис. 6. для сравнения приведены сдвиговые характеристики асфальтобетона с природным песком и со шлаком фракции до 5 мм.

Таблица 4

## Сдвиговые характеристика асфальтобетона с природным песком и со шлаком фракции до 5 мм

№№ составов	Характеристика смесей	Сдвиговые характеристики			
		φ, град.	tg φ,	C, МПа	R <sub>сдв</sub> , МПа
1	Смеси с природным песком и КОВ, вязкостью 115, с	42	0,90	0,126	0,74
2	То же с КОВ, вязкостью 190, с	41	0,87	0,217	0,82
3	Смеси со шлаком и КОВ, вязкостью 115, с	43	0,95	0,293	0,95
4	То же с КОВ, вязкостью 190, с	43	0,95	0,31	0,99

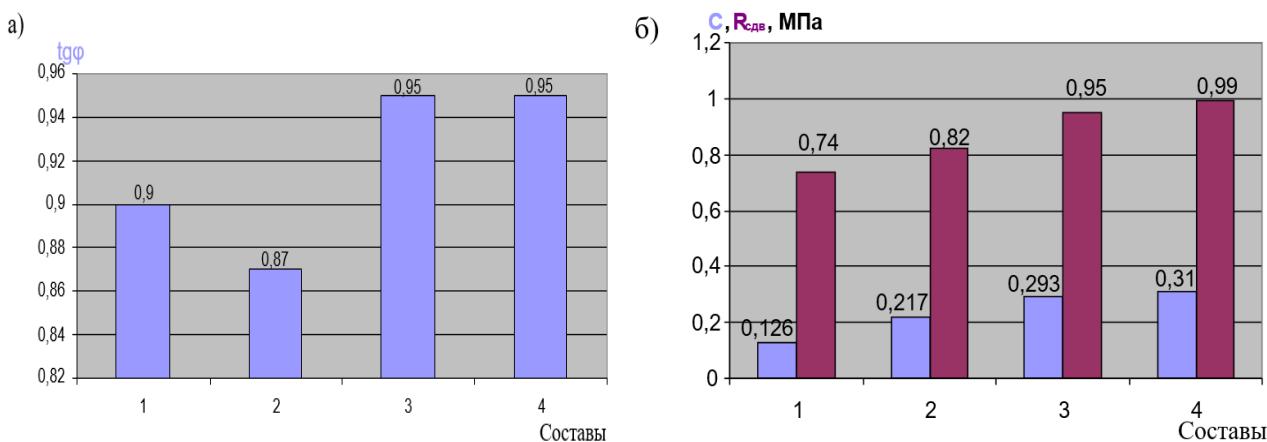


Рис. 6. Зависимость составов от коэффициента угла внутреннего трения (а) и от сцепления при сдвиге и от предела прочности при сдвиге (б).

Угол внутреннего трения зависит главным образом от количества щебня в асфальтобетоне и изменяется от 33° - 35° в песчаном асфальтобетоне, до 42° - 45° в многощебенистом.

Установлено, что сдвигающее усилие от автомобильных колес при обычном торможении равно 0,75 доли удельного давления колес на покрытие [18].

Удельное давление колес самых тяжелых грузовиков не превышает 0,7 МПа, а при аварийном торможении равно 1,0 МПа.

Внутреннее трение асфальтобетона с природным песком (0,90) меньше, чем со шлаком (0,95), но и соответствующие значения сцепления (0,12 и 0,29 МПа) также повышают прочность при сдвиге, подсчитанную при максимальной транспортной нагрузке Р равной 0,7 МПа.

Прочность при сдвиге асфальтобетона со шлаком (0,95 МПа) больше, чем с природным песком (0,74 МПа) на 28 % (для асфальтобетона на КОВ вязкостью 115 с).

Для асфальтобетона с КОВ вязкостью 190 с. значение прочности при замене природного песка на шлак повышается на 21 %.

Таким образом, полученные результаты хорошо согласуются с положением уравнения Кулона, где повышение прочности асфальтобетона при сдвиге достигается путем:

- повышения угла внутреннего трения;
- увеличения крупности щебня, что повышает взаимное зацепление -  $C_3$  зерен минеральной смеси;
- увеличения внутреннего сцепления –  $C_b$ , зависящего от вязкости битума и количества минерального порошка, что обеспечивает получение асфальтовяжущего высокой концентрации, т.е. более вязкого и прочного.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение комплексных органических веществ в качестве добавок в холодный асфальтобетон позволяет улучшить следующие физико-механические свойства: предел прочности на сжатие при 20 °C, предел прочности водонасыщенных образцов, водонасыщение, набухания и коэффициент водостойкости.

Оценка качества приготовления холодной асфальтобетонной смеси выполнена по коэффициенту вариации и коэффициенту однородности.

Разработанные составы холодного асфальтобетона с рекомендуемыми КОВ имеют высокий коэффициент однородности, что обуславливает их применение в качестве конструкционного покрытия автомобильных дорог.

Замена природного песка на шлак фракции до 5 мм повышает прочность на 10 - 12 %, уменьшает склонность смеси к разрушению на 30 %, повышает сдвигостойчивость холодного асфальтобетона при 20 °C на 10 %, при 50 °C на 37 %.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соломатов В.И., Тахиров М.К., Адылходжаев А.И., Самигов Н.А. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов. -Ташкент.: Фан, 1991. -280 с. [In Russian: Solomatov, V.I., Takhirov, M.K., Adylkhodjaev, A.I., Samigov, N.A. (1991) *The multistructural theory of composite building materials*. -Tashkent]
2. Садиков И.С., Карабаев А. М. Применение комплексных органических вяжущих в дорожном строительстве. // Интеграция образования, науки и производства в автомобильно-дорожном комплексе. Материалы республиканской научно-практической конференции. -Ташкент.: ТАДИ, 2004. - С. 88-90. [In Russian: Sadikov, I.S., Karabaev, A.M. (2004) *The use of complex organic binders in road construction. Integration of education, science and production in the road sector. Materials of the republican scientific - practical conference*. -Tashkent]
3. Карабаев А. М. Комплексное органические вяжущие на основе нефти и гossиполовой смолы. // Наука и техника в дорожной отрасли. -М, 2005. - № 4. - С. 29-30. [In Russian: Karabaev, A.M. (2005) *Integrated organic binders based on oil and gossypol resin/ Science and technology in the road industry*. -Moscow]
4. Карабаев А. М. Абдурахмонов А.А., Муминов А.К. Комплексное органическое вяжущее для асфальтовых композиционных материалов. // Композиционные материалы. -Ташкент. 2001. - № 4. - С. 40-43. [In Russian: Karabaev, A.M., Abdurakhmonov, A.A., Muminov, A.K. (2001) *Comprehensive organic binder for asphalt composites. Composite materials*. -Tashkent]
5. Золоторёв В.А. Дорожные битумные вяжущие и асфальтобетоны. Часть 1. Дорожные битумные вяжущие. Харьков: ХНАДУ. 2014. -180 с. [In Russian: Zolotoryov V.A. (2014) *Road bituminous binders and asphalt concrete. Part 1. Road bitumen binders*. Kharkiv]
6. Золоторёв В.А. Дорожные битумные вяжущие и асфальтобетоны. Часть 2. Дорожные асфальтобетоны. Харьков: ХНАДУ. 2016. -204 с. [In Russian: Zolotoryov V.A. (2016) *Road bituminous binders and asphalt concrete. Part 2. Road asphalt concrete*. Kharkiv]
7. Бусель А.В. Ремонт автомобильных дорог. -Минск. Арт-дизайн, 2004. -208 с. [In Russian: Busel, A.V. (2004) *Road repair*. -Minsk].
8. Karabaev A.M., Kurbonov S. "Complex organic knitting developed in Respublik of Uzbekistan". // Проблемы развития автомобильно-дорожного комплекса Узбекистана. Сборник материалов республиканской научно-технической конференции. -Ташкент.: ТАДИ, 2008. - С. 282-283. [In Russian: Karabaev, A.M., Kurbonov, S. (2008) "Complex organic knitting developed in Republic of Uzbekistan"// *Problems of the development of the road complex of Uzbekistan. Collection of materials republican scientific and technical conference*. -Tashkent]
9. Карабаев А.М. Садиков И.С., Курбанов С.З. Технология приготовления комплексного органического вяжущего на опытной установке. // Сборник статей и докладов Ассоциации исследователей асфальтобетона. Ежегодная научная сессия. -М, МАДИ, 2009. – С. 72-76. [In Russian: Karabaev, A.M., Sadikov, I.S., Kurbanov, S.Z. (2009) *Technology for the preparation of complex organic binder in a pilot plant. Collection of articles and reports of the Association of researchers of asphalt concrete. Annual Scientific Session*. -Moscow]
10. Садиков И.С., Карабаев А. М. Применение комплексных органических вяжущих в дорожном строительстве. // Интеграция образования науки и производства в автомобильно-дорожном комплексе. Материалы республиканской научно-практической конференции. -Ташкент.: ТАДИ, 2004. - С. 88-90. [In Russian: Sadikov,

- I.S., Karabaev, A.M. The use of complex organic binders in road construction. *Integration education of science and production in the road sector. Materials of the republican scientific and practical conference.* –Tashkent]
11. Садиков И.С., Карабаев А. М., Ачилов Ш. Модернизация локальных установок по выпускку комплексных органических вяжущих. // Современные проблемы транспортных и строительных сооружений. Материалы республиканской научно-практической конференции. –Джизак, 2006. - С. 45-46. . [In Russian: Sadikov, I.S., Karabaev, A.M., Achilov, Sh. *Modernization of local plants for the production of complex organic binders.* –Jizzak]
12. Садиков И.С., Карабаев А. М. Перспективы применения органических вяжущих в дорожном строительстве. // Роль научно-технического прогресса в развитие народного хозяйства. Материалы республиканской научно-практической конференции. -Джизак, 2005. - С. 88-90. . [In Russian: Sadikov, I.S., Karabaev, A.M. Prospects for the use of organic binders in road construction. *The role of scientific and technological progress in the development of the national economy. Materials of the republican scientific and practical conference.* –Jizzak]
13. Садиков И. С., Карабаев А.М., Курбанов С.З. Роль минерального порошка в асфальтобетонной смеси. // Современные проблемы техники и технологий. Материалы республиканской научно-практической конференции. -Джизак, 2008. - С. 79-80. [In Russian: Sadikov, I.S., Karabaev, A.M., Kurbanov, S.Z. The role of mineral powder in the asphalt mix. *Modern problems of engineering and technology. Materials of the republican scientific and practical conference.* –Jizzak]
14. Горелышев И.В. Асфальтобетон и другие битумоминеральные материалы. -Можайск.: Гера, 1995. -176 с. [In Russian: Gorelyshev, I.V. *Asphalt concrete and other bitumen-mineral materials.* -Mozhaysk]
15. Котлярский Э.В. Строительно-технические свойства дорожного асфальтового бетона. -М.: МАДИ, 2004. -194 с. [In Russian: Kotlyarsky, E.V. *Building-technical properties of road asphalt concrete.* -Moscow]
16. T.F. Fwa. The Handbook of Highway engineering-Handbook. Taylor & Francis Group. -New York. 2006.
17. Rajib B. Mallick and Tahar El-Korchi. Pavement engineering: principles and practice. Taylor & Francis Group. -New York. 2013.
18. Nick Thom. Principles of Pavement Engineering. Thomas Telford. -London. 2010.

УДК 625.76.031

## ROAD MOUNDS FROM SALINE SOILS AND METHODS FOR IMPROVING THEIR DESIGN CHARACTERISTICS

**Abdubakiy KAYUMOV**, Doctor of Technical sciences, professor

**Rashidbek HUDAYKULOV\***, PhD, docent

**Tohirjon MIRZAEV**, Senior lecturer

Tashkent Institute of Design, Construction and Maintenance of Automotive Roads  
20, A. Temur str., Tashkent, Uzbekistan, 100060

Tel. +99890 959-02-08

\*E-mail: Rashidbek\_19\_87@mail.ru

**Annotation.** Saline soils are widespread. On roads and railways, they are used to create a subgrade. In the world, serious attention is paid to the study of strength indicators of saline soils and, therefore, their research is relevant. The article is devoted to the substantiation of the calculated characteristics of saline soils, the constructive solution of its working layer, taking into account the water-thermal regime on existing roads. For these purposes, research methods were improved and recommendations were made on: artificially improving the properties of saline soils using surfactants and predicting their effects on the structural characteristics of soils.

**Keywords:** Saline soils, water-thermal regime, loess soils, compressive strength, bending strength, water resistance, swelling, organic binders.

## ШО'RLANGAN GRUNTLI YO'L KO'TARMALARI VA ULARNING XISOBİY KO'RSATKICHLARINI YAXSHILASH USLUBLARI

**Abdubakiy KAYUMOV**, t.f.d., professor

**Rashidbek HUDAYKULOV\***, PhD, dotsent

**Toxirjon MIRZAEV**, katta o'qituvchi

Toshkent avtomobil yo'llarini loyihalash, qurish va foydalanish instituti  
100060, O'zbekiston, Toshkent, A.Temur shoh ko'ch., 20

Tel. +99890 959-02-08

E-mail: Rashidbek\_19\_87@mail.ru

**Аннотация.** Sho'rangan gruntlar keng tarqalgan. Ular avtomobil va temir yo'llarning yo'l poyi ko'tarmalarini barpo qilish uchun ishlataladi. Dunyoda sho'rangan grunlarning barqarorlik ko'rsatkichlarini o'rganishga jiddiy e'tibor qaratilmoqda va shuning uchun ham ularni tadqiq etish dolzarbdir. Maqola mavjud avtomobil yo'llarda uchraydigan sho'rangan grunlarning yuk ko'tarish qobiliyatini suv-issiqlik rejimini va uning ishchi qatlamining konstruktiv echimiga hisobga olgan holda yuk ko'tarish qobiliyatini asoslashga bag'ishlangan. Buning uchun quyidagi tadqiqot uslublari takomillashtirildi: sirt faol moddalardan foydalangan holda sho'rangan erlarning xususiyatlarini sun'iy ravishda yaxshilash va ularni yo'l poyiga bo'lgan ta'sirini bashorat qilish bo'yicha tavsiyalar berilgan.

**Калит сўзлар:** шўрланган тупроқлар, сув-термик режим, юмшоқ тупроқлар, сикиш кучи, букма кучи, сувга чидамлилик, шишиш, органик боғловчилар.

## ДОРОЖНЫЕ НАСЫПИ ИЗ ЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТОВ И МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ИХ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

**Абдубакий КАЮМОВ**, д.т.н., профессор

**Рашидбек ХУДАЙКУЛОВ\***, PhD, доцент

**Тохиржон МИРЗАЕВ**, ст. преп.

Ташкентский институт проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог.

100060. Узбекистан, Ташкент, пр. А. Тимура, 20

Тел. +99890 959-02-08

E-mail: Rashidbek\_19\_87@mail.ru

**Аннотация.** Засоленные грунты имеют широкое распространение. Они используются для отсыпки насыпи земляного полотна автомобильных и железных дорог. В мире исследованиям прочностных показателей засоленных грунтов уделяется серьезное внимание и, поэтому, является актуальным. Статья посвящена обоснованию расчетных характеристик земляного полотна из засоленных грунтов, конструктивного решения его рабочего слоя с учетом водно-теплового режима на существующих автомобильных дорогах. Для чего

усовершенствованы методы исследования и даны рекомендации по: искусственному улучшению свойств засоленных грунтов с использованием поверхностно-активных веществ и прогнозированию их влияния на расчетные характеристики земляного полотна.

**Ключевые слова:** Засоленные грунты, водно-тепловой режим, лёссовые грунты, прочность при сжатии, прочность при изгибе, водоустойчивость, набухание, органические вяжущие.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Засоленные грунты широко распространены вдоль побережий Тихого, Атлантического, Индийского океанов и многих морей. В качестве основания сооружений засоленные грунты используются в США, Египте, Австралии, Пакистане, Индии, Иране и других странах. Широко распространены засоленные грунты и на южной территории России. Наиболее часто они встречаются в аридной и полуаридной зонах [1-5].

Площадь распространения засоленных грунтов в России составляет примерно 2213 тыс.км<sup>2</sup>, или 10% территории (только солончаки, солонцы и солоди занимают более 750тыс.км<sup>2</sup>). Основная часть засоленных грунтов находится в районах Средней Азии, Казахстана, Кавказа, Крыма и Западно-Сибирской низменности. Грунты Средней Азии и Казахстана характеризуются присутствием легко и среднерастворимых солей, сульфатным, хлоридным и смешанным типами засоления. Наиболее засолены грунты Прикаспийской, Туранской и Западно-Сибирской низменностей, плато Бетпак-Дала, Устюрт, Эмбенское и Тургайское [6-9].

Засоленные грунты, которые используются для насыпи автомобильных дорог в Узбекистане, слагают из солончаков, солоди, солонцы, такыры, которые различаются составом и содержанием легкорастворимых солей. Они в большинстве случаев формируются на пониженных элементах рельефа: шлейфах склонов, низменностях, берегах соленых озер и лиманов, во впадинах на поймах, в днищах степных блюдец суффозионного происхождения, где минерализованные воды стоят близко к земной поверхности (1 - 3 м) [6-9]. Главным фактором образования засоленных грунтов являются близко залегающие от поверхности минерализованные грунтовые воды и соленосные коренные породы. Бессточный характер местности и превышение процесса испарения над количеством атмосферных осадков являются основными условиями засоления.

Обоснованы актуальность и востребованность темы, сформулированы цель и задачи исследования, выявлены объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты теоретическая и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре статьи.

## 2. ИЗУЧЕНИЕ РАННИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В Узбекистане вопросами засоления грунтов занимались Ахмедов А.У., Анорбоев С.А., Агзамова И.А., Нерозин А.Е., Панков М.А., Роговская Н.В., Султонходжаев А.Н., Ходжибаев Н.Н., Гофуров В.Ф. и другие учёные. Их исследования показывают, что источниками засоления почв в основании автомобильных дорог являются атмосферные и поливные воды и их испарение [10].

Учитывая особенности использования засоленных грунтов в земляном полотне и дорожных одеждах, различают следующие виды засоления: хлоридные, сульфатно-хлоридные, хлоридно-сульфатные, сульфатные и содовые, а также по степени засоления: слабозасоленные, среднезасоленные, сильнозасоленные и избыточно засоленные.

На разных регионах с различными природными условиями Узбекистана встречаются разные и по составу и по количеству засоленные грунты. Наиболее часто встречаются в составе грунтов соли:  $NaCl$ ,  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ,  $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ ,  $NaHCO_3$ ,  $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ ,  $CaCO_3$  и  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ . Содержание и количество в грунте этих легкорастворимых солей определяет физико-механические свойства грунта [10, 11].

Для улучшения физических и механических свойств грунтов поверхностно-активными веществами (ПАВ) были произведены исследования Безруком В.М., Кострико М.Т., Марковым Л.А., Парфеновым А.П., Петрашевым А.П., Пугачевым Б.В., Ребиндером П.А., Сергеевым Е.М., Серб-Сербиной Н.Н., Черкасовым И.И. а также из Узбекистана: Бабаханов П.Б., Илёсов Н., Каландаров Т.Х., Каюмов А.Д., Рождественский Е.Д., Расулов Х.З., Ступакова Л.Ф., Хасанов А.З. и другие [12].

В настоящее время используемые для стабилизации физико-механических и физико-химических свойств грунтов ПАВ: T-RRP, Soiltac ®, Durasoil, Status, ECO roads – улучшают расчетные характеристики грунтов дорожных насыпей (модуль упругости, сцепление и угол внутреннего трения) [12].

Анализ исследований вышеупомянутых авторов и существующих нормативных документов показывает, что приведенные в них деформационные и прочностные показатели засоленных грунтов требуют пересмотра и уточнения.

Проведенный анализ показал, что факторы, влияющие на расчётные показатели засолённых грунтов в расчетный период и определяющие их отличие от значений, приведенных в МКН 46-08 [13] (Узбекистан), могут быть следующими:

1. Особенности засоленных грунтов по сравнению с глинистыми грунтами такого же содержания, прежде всего, содержание в составе разных солей различного количества;

2. Вероятность отличия значения плотности засоленных грунтов, определённой в полевых условиях от предусмотренного в МКН 46-08;

3. Вероятность отличия конструкции рабочего слоя земляного полотна существующих дорог из засоленного грунта от приведенных в нормативных документах конструкции.

Таким образом, можно заключить, что расчётные показатели засоленных грунтов в земляном полотне дороги зависят от типа и количества солей. По этой причине, в целях определения допустимых значений показателей, важно проводить исследования в разных регионах Узбекистана и параллельно в лабораторных условиях.

### 3. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДОРОЖНОЙ НАСЫПИ ЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТАХ

Грунты рабочих слоев дорожных насыпей, в первую очередь, находятся в напряжённом состоянии под воздействием нагрузок от транспортных средств и под влиянием водно-тепловых режимов. Исследования водного режима земляного полотна на орошаемых районах показали, что источниками увлажнения рабочих слоев дороги является режим орошения полей и режим подземных вод. Исходя из выше указанных соображений, для определения расчетных показателей дорожных насыпей из засоленных грунтов в условиях Узбекистана предложена схема указанные на рис. 1

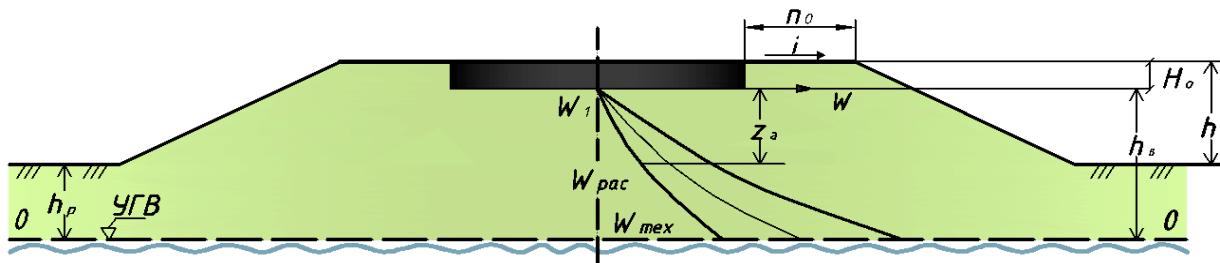


Рис. 1. Расчёчная схема -конструктивных решений дорожной насыпи

$W_1$  - начальная влажность, равная оптимальной влажности при уплотнении грунта земляного полотна, %;

$W_{pac}$  - расчетная влажность, %;

$W_{tex}$  - влажность при текучести грунта, %;

$Z_a$  - активная зона, м.

$h_p$  - расстояние от уровня грунтовых вод до поверхности земли, м;

$h_B$  - расстояние от поверхности грунтовых вод до низа дорожной одежды, м;

$h_b$  - расстояние от поверхности земли до бровки земляного полотна, м;

$H_o$  - толщина дорожной одежды;  $n_o$ -ширина обочины, м;

$i$  - уклон обочины;

УГВ - уровень грунтовых вод.

На схеме граница активного рабочего слоя находится от поверхности дорожной одежды на определенной глубине и на определенной высоте от уровня грунтовых вод. Грунтовые воды, по капиллярам поднимаясь вверх, увлажняют грунт. Уровень грунтовых вод со временем изменяется, соответственно изменяется и диаметр капилляров.

Анализ приведенных на рис.1 конструктивное решение показывает, что используемые при проектировании конструкции дорожных одежд прочностные и деформационные показателей засоленных грунтов зависит от его плотности, влажности, типа и количества солей. Эту функциональную зависимость можно записать по следующему:

$$\left. \begin{aligned} E &= f_1(K_{yn}, W_{pac}, N, A) \\ C &= f_2(K_{yn}, W_{pac}, N, A) \\ \varphi &= f_3(K_{yn}, W_{pac}, N, A) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

здесь:  $E$  - модуль упругости;  $C$  - удельное сцепление;  $\varphi$  - угол внутреннего трения;  $K_{yn}$ - коэффициент уплотнения грунтов;  $W_{pac}$ - расчёчная влажность, по отношению к влажности на границе текучести;  $N$  - количество засоления;  $A$ -тип солей.

### 4. ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения влияния количества и качества солей, встречающихся на засоленных грунтах, на водно-физико-механических свойств грунтов проведены специальные исследования в лаборатории кафедры "Гидрогеология и геофизики" Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова и в научно-исследовательском институте автомобильных дорог относящихся комитету Автомобильных дорог Республике Узбекистан. Химический состав грунтов определены в химической лаборатории ГП ГИДРОИНГЕО.

Исследования В.М. Безрука, Ю.Л. Мотылева, Л.Ф. Ступаковой показывают, что в природных условиях Узбекистана часто встречаются грунты сильно или избыточно-засоленные сульфатами и хлорид сульфатами. Поэтому нами в лабораторных условиях проведены исследования с грунтами, искусственно засоленными хлоридами ( $NaCl$ ), сульфатами ( $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) в концентрации 1-12%, солями кристаллического гипса ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) в концентрации 10-15%. Для исследования использованы два вида незасоленного лёссового грунта отобранного на участке 16-20 км 4Р1-кольцевой автодороги Ташкента.

Исследуемый грунт по количеству легкорастворимых солей относится к слабозасоленным грунтам. Гранулометрический состав грунтов определен предварительным промыванием, с помощью сита и пипетки. Грунты для исследований подготовлены в следующем порядке: высушенный в воздухе суглинок легкий пылеватый или тяжелый пылеватый супесь измельчен и пропущен через сито с отверстиями 1мм, затем добавлен водный раствор различных солей разной концентрации до требуемой количества. Этот грунт сохранен в эксикаторе в течении трёх суток, затем осушен на воздухе и пропущен через то же сито. Пропущенный грунт через сито, исходя из целей исследования, доведен до нужной влажности и плотности [14].

Исследования в полевых условиях показали, что грунты основания дорог преимущественно представляют собой супеси тяжелые пылеватые. По этой причине исследования в лабораторных условиях проведены на засоленных супесях тяжёлых пылеватых. Образцы грунта увлажнены до (0,60; 0,70; 0,80; 0,90)  $W_{mek}$  и уплотнены в металлических кольцах диаметром 7,1 см и высотой 3,5 см до плотности 0,94; 0,96; 0,98; 1,00; 1,02. Затем образец грунта вместе с кольцом установлен на прибор «Маслова-Лурье» и определены показатели сцепления  $C_i$  угол внутреннего трения  $\varphi$ .

В аналогичном порядке приготовлен образец засоленного грунта в металлическом кольце диаметром 10 см и высотой 11 см. Грунт уплотнен до требуемого значения и по нему, с помощью штампа диаметром 3 см и рычажной установки определен модуль упругости  $E$ .

В целях для выполнения поставленные задачи и обоснования определенных экспериментами значений оценена дисперсия «воспроизведимости»  $S_\theta$ . В засоленных грунтах определенные в лабораторных условиях средне квадратичные отклонения сил сцепления, угол внутреннего трения и модуль упругости во всех рассчитанных случаев не превысило 5%.

Перед определением расчётных показателей искусственно засоленных грунтов в лабораторных условиях на кафедре «Инженерная геология и защита экологической среды» МГУ с помощью микроскопа НИТАСНІ - 800 изучались увеличенным в 250-400 раз.

На рис. 2-4 показаны результаты исследования, проведенного для определения зависимости модуля упругости, силы сцепления и угла внутреннего трения засоленного грунта с хлоридами ( $NaCl$ ), сульфатами ( $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ) и гипсами в виде кристалла ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), имеющими различные влажности (0,60; 0,70; 0,80; 0,90  $W_{mek}$ ) и плотности (коэффициент уплотнения равно 0,94; 0,96; 0,98; 1,00; 1,02).

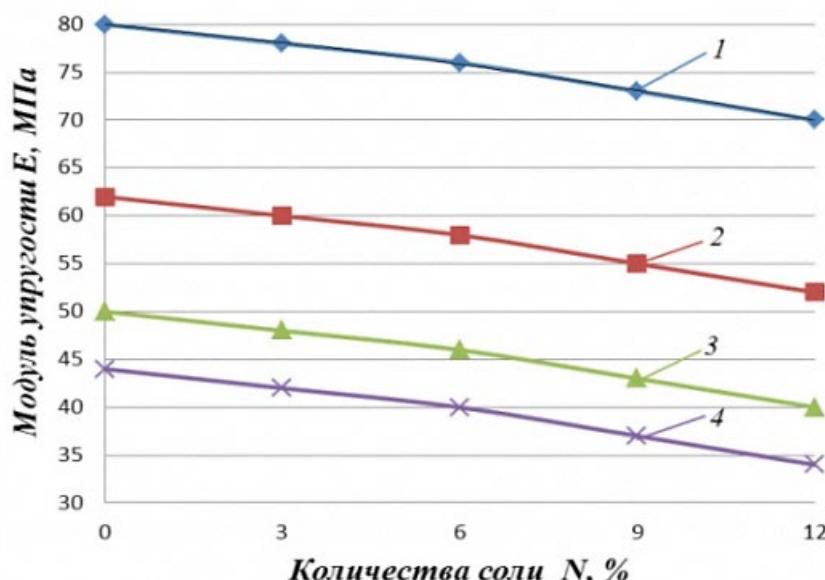


Рис. 2. График зависимости модуля упругости засоленного с  $NaCl$  ом грунта от количества засоления и влажности:  $K_{yn}=1,00; 1-0,60 W_{mek}; 2-0,70 W_{mek}; 3-0,80 W_{mek}; 4-0,90 W_{mek}$

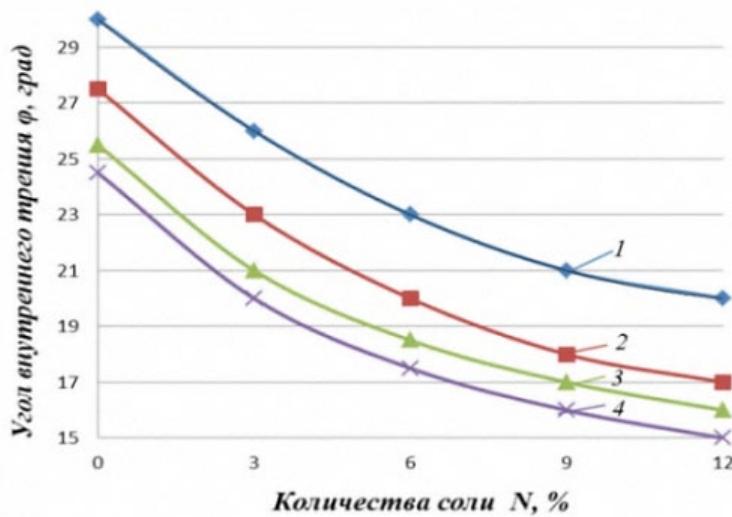


Рис. 3. График зависимости угла внутреннего трения засоленного с  $NaCl$  ом грунта от количества засоления и влажности:  $K_{yn}=1,00$ ; 1-0,60 $W_{mek}$ ; 2-0,70 $W_{mek}$ ; 3-0,80 $W_{mek}$ ; 4-0,90 $W_{mek}$

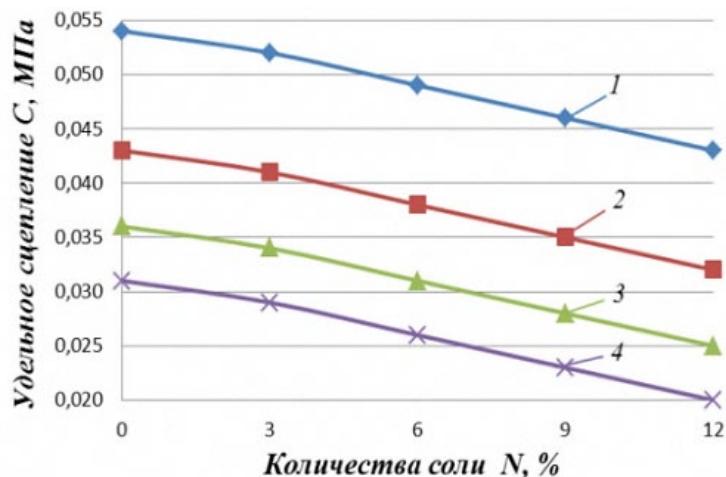


Рис. 4. График зависимости удельного сцепления засоленного с  $NaCl$  ом грунта от количества засоления и влажности:  $K_{yn}=1,00$ ; 1- $N=0\%$ ; 2- $N=3\%$ ; 3- $N=6\%$ ; 4- $N=9\%$ ; 5- $N=12\%$

На основе планирования экспериментов мы попытались получить математически регрессионные зависимости, характеризующие изменения расчетных показателей исследуемых сульфатно и хлоридно-сульфатных ( $CXC$ ), а также хлоридно и сульфатно-хлоридных ( $XCX$ ) грунтов в зависимости от: коэффициента уплотнения  $X_1-K_{yn}$ ; расчётной влажности  $X_2-W_{pac}$  и степени засоления  $X_3-N$  хлорид:

#### Для сульфатно и хлоридно-сульфатно засоленных грунтов:

Модуль упругости:

$$Y_E^{cxc} = 50,75 + 11,75X_1 - 18X_2 - 4,75X_3 + 0,25X_1X_3; \quad (2)$$

Угол внутреннего трения:

$$Y_\varphi^{cxc} = 22,375 - 0,377X_1 - 2,124X_2 - 4,623X_3 - 0,376X_1X_2 - 1,125X_1X_3 + 125X_1X_2X_3; \quad (3)$$

Удельное сцепление:

$$Y_C^{cxc} = 0,037 + 0,014375X_1 - 0,011125X_2 - 0,005125X_3 + 0,000375X_1X_2 + 0,000375X_1X_3 + 0,000375X_2X_3 + 0,000375X_1X_2X_3; \quad (4)$$

#### Для хлоридно и сульфатно-хлоридно засоленных грунтов:

Модуль упругости:

$$Y_E^{xcx} = 49 + 10,5X_1 - 16,5X_2 - 5X_3; \quad (5)$$

Угол внутреннего трения:

$$Y_{\phi}^{xcx} = 21,075 - 1,312X_1 - 2,12X_2 - 5,32X_3X_2 - 2,125X_1X_3 + 1,27X_1X_2X_3. \quad (6)$$

Удельное сцепление:

$$Y_c^{xcx} = 0,047 + 0,014X_1 - 0,0115X_2 - 0,0055X_3; \quad (7)$$

Были произведены исследования для выявления расчетных показателей искусственных засоленных грунтов стабилизированных «Битумной эмульсией» в лабораторных условиях, а так же в полевых условиях в Ферганской области на автомобильной дороги 4Р - 126 «Баликчи к. - Мингбулак к. - Найман к. - Пунгон к.». Были использованы рычажные приборы Маслова-Лурье и одноплоскостные срезы, используемые при испытании грунтов.

## 5. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

В таблице 1 приведены результаты лабораторных исследований стабилизированных и нестабилизированных «Битумной эмульсией» искусственно засоленных с 5% NaCl супесей легких пылеватых.

Таблица 1

Расчетные показатели искусственно засоленных пылеватых легких супесей  
стабилизированных и нестабилизированных «Битумной эмульсией»

Коэффициент уплотнения $K_{up}$	Расчетные показатели грунтов					
	Нестабилизированных			Стабилизированных		
	E, МПа	$\phi$ , град.	C, МПа	E, МПа	$\phi$ , град.	C, МПа
0,96	56	26	0,024	65	29	0,030
0,98	65	26	0,034	75	29	0,041
1,00	78	26	0,045	89	29	0,054

Примечание: Расчетные параметры грунтов были определены при влажности 0,55Wтек.

Из результатов исследование показанные в таблице 1 выявлено, что при коэффициенте уплотнения у стабилизированного грунта повышается модуль эластичности до 89 МПа, то есть повышается на 12%; сила сцепления на 0,054 МПа, то есть повышается на 15%; угол внутреннего трения на 29 градусов, то есть повышается в порядке 10%.

Расчётные показатели засоленных грунтов, определённых в полевых и лабораторных условиях обобщены и приведены в таблице 2, соответственно сульфатной и хлоридно-сульфатной засоленности, а также хлоридной и сульфатно-хлоридной засоленности (для Куп=0,98).

Таблица 2

Расчётные характеристики засоленных грунтов

Коэффициент уплотнения, $K_{up}$	Степень засоления, %	Характеристика грунтов	Хлоридно и сульфатно - хлоридно		Сульфатно и хлоридно - сульфатно		
			Расчетные показатели				
			0,60	0,70	0,80	0,90	0,60
0,98	0	$E, /C, \text{МПа}$ $\phi, \text{град}$	71/0,056 26	55/0,045 24	44/0,038 23	38/0,033 22	74/0,046 29
	3	$E, /C, \text{МПа}$ $\phi, \text{град}$	69/0,054 24	53/0,043 22	42/0,036 21	36/0,031 20	72/0,044 27
	6	$E, /C, \text{МПа}$ $\phi, \text{град}$	67/0,051 22	51/0,040 20	40/0,033 19	34/0,028 18	70/0,041 25
	9	$E, /C, \text{МПа}$ $\phi, \text{град}$	64/0,048 20	48/0,037 18	37/0,030 17	31/0,025 16	67/0,038 22
	12	$E, /C, \text{МПа}$ $\phi, \text{град}$	61/0,045 14	45/0,034 12	24/0,027 11	28/0,022 10	64/0,035 20

Для расчёта толщины дорожной одежды в полевых или лабораторных условиях определяются показатели расчетной влажности и коэффициент уплотнения, тип засоленности затем по формулам (2) и (7) рассчитывается Е. Однако пользоваться этими формулами неудобно, так как Е в них задаётся для дискретных значений (N=0, 3, 6, 9 и 12), коэффициент уплотнения (Куп= 0,94; 0,96; 0,98; 1,00 и 1,02), расчетные

влажности ( $W_{pac} = 0,60; 0,70; 0,80$  и  $0,90$  Wtek). На практике проектирования часто употребляются и промежуточные значения. Поэтому для точного определения зависимости  $E$ ,  $C$ ,  $\varphi$  от других показателей, мы попытались разработать аналитическое выражение для засоленных грунтов.

$$\left. \begin{array}{l} E_{cxc} = \Delta E_W (W_{pac}^2 - 1,9 \cdot W_{pac} + 0,98) - \Delta E_N (N^2 + 23 \cdot N + 1.20) + \Delta E_3 (K_{yn}^2 - 0,25 \cdot K_3 - 0,64) \\ E_{xcx} = \Delta E_W (W_{pac}^2 - 1,9 \cdot W_{pac} + 0,98) - \Delta E_N (N^2 + 23 \cdot N + 1.20) + \Delta E_3 (K_{yn}^2 - 0,27 \cdot K_3 - 0,64) \end{array} \right\} ; \quad (8)$$

$$\left. \begin{array}{l} C_{cxc} = \Delta C_W (W_{pac}^2 - 1,99 \cdot W_{pac} + 1,10) - \Delta C_N (N + 0,22) + \Delta C_3 (K_{yn}^2 - 1,8872 \cdot K_3 + 0,890) \\ C_{xcx} = \Delta C_W (W_{pac}^2 - 1,80 \cdot W_{pac} + 0,88) - \Delta C_N (N + 0,33) + \Delta C_3 (K_{yn}^2 - 1,8872 \cdot K_3 + 0,890) \end{array} \right\} ; \quad (9)$$

$$\left. \begin{array}{l} \varphi_{cxc} = \Delta \varphi_W (W_{pac}^2 - 1,82 \cdot W_{pac} + 1,31) - \Delta \varphi_N \cdot N \\ \varphi_{xcx} = \Delta \varphi_W (W_{pac}^2 - 2,02 \cdot W_{pac} + 1,89) - \Delta \varphi_N \cdot N \end{array} \right\} , \quad (10)$$

здесь:  $\Delta E_W$ ,  $\Delta E_N$ ,  $\Delta E_3$ ,  $\Delta C_W$ ,  $\Delta C_N$ ,  $\Delta C_3$ ,  $\Delta \varphi_W$  и  $\Delta \varphi_N$  - соответственно коэффициенты учитывающие влажность, степень засоления, коэффициент уплотнения грунтов, значения которых приведены в таблице 3.

Таблица 3  
Коэффициенты учитывающие влажность, степень засоления и коэффициента уплотнения грунтов

$\Delta E_w, MPa$	$\Delta E_N, MPa$	$\Delta E_3, MPa$	$\Delta C_W, MPa$	$\Delta C_N, MPa$	$\Delta C_3, MPa$	$\Delta \varphi_W, град.$	$\Delta \varphi_N, град.$
300	0,0238	178,57	0,15	0,0009	4,4643	50	0,7
275	0,0238	357,14	0,325	0,0012	4,4643	25	0,7

Примечание: в числителе – для сульфатно и хлорид-сульфатно засоленных грунтов; в знаменателе – для хлоридно и сульфат-хлоридно засоленных грунтов.

Для определения степени точности (достоверности) полученных выражений (8-10), определены дисперсии неадекватности и «воспроизведимости».

Большинство коэффициентов корреляции для приведенных случаев было  $R=0,97$ . Это означает, что выведенные формулы достаточно отражают протекающие процессы.

Таким образом, тип засоленности и количества соли в грунтах влияют на расчётные значения показателей грунтов земляного полотна модуль упругости  $E$ , сила сцепления  $C$  и угол внутреннего трения  $\varphi$ . Их значение в зависимости от количества и качества засоления можно определить по формулам (8-10).

Выполнены расчёты по определению влияния легкорастворимых солей (сульфатное засоление  $Na_2SO_4$ ) на структуру дорожной одежды, при концентрации соли 0, 2, 5 и 8%. При этом расчёты проведены по критериям упругого прогиба конструкции, сопротивлению сдвигу в слабосвязанных материалах грунта и слоев, сопротивлению растяжению при изгибе монолитных слоев. Результаты показаны таблице 4.

Таблица 4  
Результаты расчёта толщины дорожной одежды

Наименование показателей	Количество $Na_2SO_4, \%$			
	0	2	5	8
$W/W_T$	0,60	0,69	0,76	0,80
$E_{GP}, Mpa$	72	47	37	30
$\varphi_{GP}, град.$	24	18	15	13
$C_{GP}, Mpa$	0,030	0,017	0,0124	0,011
Толщина дорожной одежды, см	65	72	79	86

По результатам видно, что при содержании в грунте 2-8% легкорастворимых солей, необходимо увеличить толщину дорожной одежды (дешевле увеличить нижние слои). При содержании  $Na_2SO_4, 2\%$  и  $8\%$ , толщина увеличивается до 7 и 21 см.

Для достижения экономический эффективности необходимо выбрать оптимальную конструкцию дорожной одежды с учётом межремонтных сроков службы покрытия. При увеличении толщины дорожной одежды увеличивается срок службы. Это позволяет снизить себестоимость перевозок, и сократить число ДТП.

При увеличении срока службы на 2-3 года, экономическая эффективность превышает в 6,3 раза от увеличения толщины нижних слоев дорожной одежды на 12 см.

На основе результатов исследований имеем следующее заключение:

- Для прогноза расчетных характеристик дорожных насыпей из засоленных грунтов предложено расчетное конструктивное решение-схема рабочего слоя, увлажняемого капиллярными водами. Это позволяет получить функциональные зависимости для назначения расчетных характеристик рабочего слоя земляного полотна при его проектировании.

- Определены расчетные характеристики рабочего слоя земляного полотна существующих автомобильных дорог, и они дифференцированы в соответствии количеству и качеству солей, плотности и влажности засоленного грунта. Это позволяет создать оптимальные конструкции дорожных одежд.

- В результате исследования внесены изменения к показателям засоленных грунтов, приведенных в существующих нормативных документах. Эти изменения позволяют на 15% увеличить использование в строительстве негодных для дорожного строительство сильно засоленных грунтов.

- Научные разработки и теоретические положения, полученные в результате проведенных исследований, позволят разработать ряд нормативных документов, и они включены в учебные литературы.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

1. Roads and Salinity ISBN: 0734753772 // Department of Infrastructure, Planning and Natural Resources 2003.-26 b.
2. Building in a Saline Environment ISBN: 9780734759702// Department of Infrastructure, Planning and Natural Resources 2008.-18 b.
3. The Prevention and Repair of Salt Damage to Roads and Runways ISBN 99912-0-380-X // Guide to the Prevention and Repair of Salt Damage to Roads and Runways 2001.-24 b.
4. International Journal of Pavement Researchand Technology ISSN 1996-6814 /Pavement Mechanic Response of Sulfate Saline Soil Subgrade Section Basedon Fluid-Structure Interaction Model 2016 Vol. 9(1):19.
5. Magazyn Autostrady, Budownictwo drogowo-mostowe ISSN 1730-0703 // Inteligentne Systemy Transportowe 5/2017. 57 b.
6. А.К. Киялбаев, С.Н. Киялбай. «Эксплуатация автомобильных дорог». Москва-Алматы 2017. 342с. [In Russian: A.K. Kiyalbaev, S.N. Kiyalbai (2017) *Road maintenance*. Moscow-Almaty].
7. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. –М.: Транспорт, 1987. -415 с. [In Russian: Babkov, V.F., Andreev, O.V. (1987) *Designing of automobile roads*. Moscow: Transport].
8. ШНК. 2.05.02-07 Автомобильные дороги. Нормы проектирования. Ташкент, 2007 г. 89 с. [*Standards and Rules of City building. 2.05.02-07 Automobile roads. Design standards. Tashkent, 2007*].
9. Научно-технический отчет по теме «Оценка влияния водно-солевого режима грунтов на основания транспортных сооружений и разработка их устойчивых конструкций». Ташкент: ТАЙИ. 2014. 154 р. [Scientific and technical report on the topic: (2014) Assesing the impact of water-salt regime of soil on the basis of transport facilities and development of sustainable constructions in Uzbekistan”. Tashkent Automobile Roads Institute (TARI), Tashkent].
10. Худайкулов Р.М. «Обоснование расчетных характеристик засоленных грунтов насыпей земляного полотна». Диссертация на доктора философии (PhD) по техническим наукам. – Ташкент. 2018 г., 134 с. [In Russian: Khudaykulov, R.M. (2018) Justification of the design characteristics of saline soils of the subgrade. Thesis on the Doctor of Philosophy (PhD) on technical sciences. Tashkent].
11. Каюмов А.Д., Махмудова Д.А., Худайкулов Р.М. Поведение лессовых грунтов. Журнал Автомобильные дороги. Москва. 2014 г, № 06 (991). 93-94 с.[ In Russian: Kayumov, A.D., Makhmudova, D.A., Khudaykulov, R.M. (2014) Behavior of loess soils/ *Journal of Highways*. Moscow].
12. Каюмов А.Д., Худайкулов Р.М., Усманова А. Применение стабилизаторов для улучшения свойств грунтов/ Республиканской научно-практической конференции. Ташкент, 2010 г. с. 205-208. [In Russian: Kayumov, A.D., Khudaykulov, R.M., Usmanova, A. (2010) The use of stabilizers to improve the properties of soils/ *Republican science science-practical conference the collection of materials*. Tashkent].
13. МКН 46-2008. Инструкция по проектированию нежестких дорожных одежд. – Ташкент, 2008 г. -246 с. [In Russian: Normative Standards of Construction 46-2008. *User designing of nonrigid road pavements*. Tashkent, 2008].
14. Грунтоведения. Под ред. Академика Е.М.Сергеева.-М.: Изд-во МГУ, 1983ю 392 с. [(1983) *Soils. Edit by Academician E.M.Sergeeva-Moscow.: MSU*].

## THEORETICAL BASES OF IMPREGNATION WITHOUT PRESSURE OF MELIORANTS AND THE APPLICATION OF ITS FEATURES IN PRACTICE OF FIXING MOBILE SANDS

**Makhamadjan MIRAHMEDOV**, doctor of Technical Sciences, professor

Tashkent Institute of Railway Engineers

1, Adylkhojaev st., Tashkent, 1100167, Uzbekistan

Tel +998 (90) 925 87 08

E-mail: mirakhmedovm@mail.ru

**Annotation:** Railways in the sandy deserts are drifted with sand. To stop sand drift, the sand surface is blocked by the creation of a protective crust. The crust is obtained by spraying a binder that impregnates the sand. Impregnation features determine the construction and technological parameters of work to fix the sand and the crust itself. Therefore, a theoretical and empirical study of the process of impregnation of sand with a binder is today an important task. The identification of the predominant character of impregnation under the influence of gravitational and capillary forces made it possible to establish the need for studying on physical models and the need for preliminary wetting of sand. Pre-wetting allows you to change the nature of impregnation from gravitational to capillary, which in turn leads to a decrease in the rate of impregnation and an increase in the degree of saturation of sand with a binder. As a result, the specific consumption of the working composition and the concentration of the binder are reduced. Thus, the study of the process of impregnating sand with binders made it possible to obtain resource-saving technology for fixing sand.

**Key words:** sand deflation, fixing, physicochemical method, method, impregnation, protective crust, capillary forces, gravitational forces, solvation layer, humidity, specific consumption, concentration, resource saving

## МЕЛИОРАНТЛАРНИ ТАШКИЛ ЭТИШНИНГ ТЕХНИК АСОСИЙ АСОСЛАРИ ВА МҮМОЛЛАРНИ МОБИЛ СОНЛАРНИ ФИКСИЯ ТАРТИБИДА ҚҰЛЛАШ

**Махамаджан МИРАХМЕДОВ**, , т.ф.д., профессор

Тошкент темир йўл муҳандислари институти

100167, Ўзбекистон, Тошкент, кўчаси Адилхўжаева 1

Тел +998 (90) 925 87 08

Elektron pochta: mirakhmedovm@mail.ru

**Аннотация:** Кумли чўлларда темир йўллар қум билан тортилган. Қумнинг чўкишини тўхтатиш учун химоя юзаси яратилиши билан қум юзаси блокланади. Қисқичбакасимон қумни сингдирадиган боғловчи пуркаш орқали олинади. Эмдириш хусусиятлари қум ва қобигини ўзи тузатиш учун ишнинг курилиш ва технологик параметрларини аниқлайди. Шу сабабли, қумни бирлаштирувчи билан эмдириш жараёнини назарий ва эмпирик ўрганиш бугунги кунда муҳим вазифадир. Гравитациявий ва капилляр кучлар таъсири остида эмдиришнинг устунлик хусусиятини аниқлаш физик моделларни ўрганиш зарурлигини ва қумни олдиндан намлаш зарурлигини аниқлашга имкон берди. Олдиндан намлаш сиз эмдириш хусусиятини гравитациядан капиллярга ўзгартиришга имкон беради, бу эса ўз навбатида эмдириш тезлигининг пасайишига ва шағалнинг кўпайишига олиб келади. Натижада, ишчи таркибнинг ўзига хос истеъмоли ва боғловчи контсентрацияси камаяди. Шундай килиб, қумни ёпиштирувчи моддалар билан сингдириш жараёнини ўрганиш қумн и маҳкамлаш учун ресурс тежайдиган технологияни олишга имкон берди.

**Калит сўзлар:** қум дефляцияси, фиксация, физик-кимёвий усул, усул, эмдириш, химоя қобиги, капилляр кучлар, тортишиш кучлари, кутқариш қатлами, намлик, ўзига хос истеъмол, контсентрация, ресурсларни тежаш

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЕЗНАПОРНОЙ ПРОПИТКИ МЕЛИОРАНТОВ И ПРИМЕНЕНИЕ ЕЕ ОСОБЕННОСТЕЙ В ПРАКТИКЕ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ПЕСКОВ

**Махамаджан МИРАХМЕДОВ**, д.т.н., профессор

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта

100167, Узбекистан, Ташкент, ул. Адилхожаева, 1

Тел. +998 (90) 925 87 08

Email: mirakhmedovm@mail.ru

**Аннотация:** Железные дороги в песчаных пустынях заносятся песком. Для прекращения песчаного заноса поверхность песка блокируют созданием защитной корки. Корку получают разбрзгиванием вяжущего

вещества, который пропитывает песок. Особенности пропитки определяют строительно-технологические параметры работ по закреплению песков и самой корки. Поэтому теоретическое и эмпирическое изучение процесса пропитки песка вяжущим веществом на сегодняшний день является важной задачей. Выявление преобладающего характера пропитки под влиянием гравитационных и капиллярных сил позволило установить необходимость изучения на физических моделях и необходимость предварительного увлажнения песка. Предварительное увлажнение позволяет изменить характер пропитки с гравитационного на капиллярный, что в свою очередь обуславливает снижение скорости пропитки и увеличение степени насыщения песка вяжущим. В результате удельный расход рабочего состава и концентрация вяжущего вещества уменьшается. Таким образом, изучение процесса пропитки песка вяжущим позволило получение ресурсосберегающей технологии закрепления песков.

**Ключевые слова:** дефляция песков, закрепление, физико-химический метод, способ, пропитка, защитная корка, капиллярные силы, гравитационные силы, сольватный слой, влажность, удельный расход, концентрация, ресурсосбережение

## 1. ВВЕДЕНИЕ

### 1.1. Актуальность проблемы

Транспортные коммуникации мира, в частности, железные и автомобильные дороги, неуклонно развиваются. При этом в связи с необходимостью индустриального освоения они строятся в сложных природных условиях, например, в горах, пустынях, в частности в песчаных пустынях [1-5]. На дороги, в этих условиях, негативно воздействуют природно-климатические явления, например, дефляция. Дефляция вызывает выдувание земляного полотна, а песок, переносимый в результате дефляции, откладывается на верхнем строении пути, говорят, что путь заносится песком [6 - 8].

Выдувание и заносы являются, таким образом, следствием дефляции, ее результатами. Эти проявления серьезно снижают безопасность движения транспортных средств, особенно при неуклонном росте скорости движения поездов (рис. 1, 2).



Рис. 1. Песчаный занос вблизи ст. Алтынколь (Казахстан) (Фото Мирахмедова М.М., 2012)



Рис. 2. Удаление песка машиной SKM500



Рис. 3. Опрыскиватели бокового дутья: ОВГ-2006Б и «Мастер» с раскрывающимися консолями в Саудовской Аравии (фото: Plasser & Theurer)

Поэтому, в песчаных пустынях, изучение негативного влияния дефляции на безопасность строительства и эксплуатации коммуникаций (автомобильных и железных дорог) и совершенствование технологии их защиты от подвижных песков является актуальной задачей [9 - 11].

## 1.2 Выявление перспективных направлений исследования

Различают несколько методов закрепления подвижных песков. В качестве радикальной меры, позволяющей достичь кратковременного, но немедленного результата, первую очередь, прибегают к физико-химическому методу (ФХМ) закрепления песков [12, 13].

Суть ФХМ сводится к осуществлению технологического приема разбрызгивания вяжущего вещества на закрепляемую поверхность песка садовыми опрыскивателями (рис.3). Жидкость без напора движется внутрь песчаного субстрата, пропитывает его и образует специфический строительный материал – вяжущепесчаную корку, т.е. вяжущее играет роль мелиоранта песка, улучшая его физико-механические свойства, обладающие свойством, обеспечивающим устойчивость против разрушительного воздействия потока песка, переносимого ветром, т.е. ветропесчаного потока [14, 15]. Свойства корки зависят от свойств его составляющих и особенностей их взаимодействия, которые проявляются в процессе пропитывания песчаного субстрата вяжущим веществом, стабилизируя состояние дефлируемой поверхности [16]. В силу этих обстоятельств представляется важным раскрыть особенности безнапорной пропитки, создать теоретические основы импрегнирования песков.

## 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ БЕЗНАПОРНОЙ ПРОПИТКИ ПЕСЧАНОГО СУБСТРАТА ВЯЖУЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ

На сегодняшний день представления о механизме пропитки песка химическим мелиорантом не полностью раскрывают суть явления. Поэтому, возникает необходимость проведения более детального теоретического изучения и обобщения результатов ранее проведенных опытов.

Для полноты определения закона движения химического мелиоранта в песке необходимо дать ответ на вопрос о силах, под воздействием которых это движение происходит [14, 16]. В частности, ряд исследователей выдвигают гипотезу подобия горизонтальной инфильтрации воды в морском песке как функцию преобразования Больцмана  $\Psi$  (λ2). В то же время, авторы признают, что эта функция преобразования не применима к вертикальной пропитке воды в реальные почвы и результаты экспериментов не полностью совпадают с измеренным распределением воды в почве [17, 18].

Известно, что пропитка происходит под воздействием гравитационных и капиллярных сил. Известно также, что влиянием гравитационных сил можно пренебречь, тогда и только тогда, когда потенциальная энергия поля капиллярных сил, отнесенная к единице жидкости, больше потенциала поля тяжести  $\Psi_k >> \Psi_{nm}$ . По А.В. Лыкову, это справедливо, когда внутренний размер канала, по которому движется жидкость, имеет размер менее  $10^{-2}$  мм [17]. В противном случае массой пропитываемой жидкости пренебречь нельзя. Следовательно, для того чтобы установить преобладающее влияние на процесс пропитки того или иного поля сил следует, для начала, определить внутренний диаметр канала, образуемый между частицами субстрата.

### 2.1. Гидродинамический подход к решению задачи пропитки песка вяжущим веществом

Представим перенос жидкости как процесс фильтрования. Справедливо допустить, что к решению задачи фильтрования можно подойти с позиций внешней и внутренней задачи гидродинамики, т.е. представить как смешанную задачу гидродинамики [15, 18, 19]. В самом деле, можно предположить, что

поток движется в каналах неправильной формы, образованных зазорами между частицами слоя (позиция внутренней задачи гидродинамики). С другой стороны, можно считать, что поток обтекает встречающиеся на пути частицы слоя песка (позиция внешней задачи гидродинамики). Смешанные задачи предусматривают комбинирование двух представлений с целью удобства расчета [21, 22]. С известной степенью идеализации допустим, что основные параметры задачи имеют вид:

- удельная поверхность частиц в единице объема слоя ( $s_{ck}$ );
- пористость или доля свободного объема ( $\varepsilon$ )
- песчинки представляют собой тело шаровидной формы с эквивалентным диаметром ( $d_e$ ).

Эксперименты проведем с учетом критериев подобия в сосуде с поперечным сечением  $S$ , который заполнен песком на высоту  $H$ . Объем песка в сосуде  $V = S \cdot H$ . Тогда поверхность зерен можно определить в виде  $F_p = V \cdot s_{ck} = S \cdot H \cdot s_{ck}$ , а объем твердой фазы (песчаных частиц) в сосуде по формуле  $V_p = V - V_n = S \times H \times (1 - \varepsilon)$ .

Имеем: объем песка, поверхность частиц, объем твердой фазы, где  $V_n$  - объем пор.

Общее сопротивление слоя зерен песка равно (1)

$$\Delta p = (\lambda H / d_e) \left( \frac{\rho \cdot S^2}{2} \right), \quad (1)$$

где  $\Delta p$  - общее сопротивление зернистого материала;

$\lambda$  - общий коэффициент сопротивления трения и местные сопротивления;

$d_e$  - эквивалентный диаметр каналов полидисперсного зернистого материала.

С позиции внутренней задачи гидродинамики диаметр канала, как известно, равен (2)

$$d_e = \frac{4 \cdot \varepsilon}{S_{sk}}, \text{ м} \quad (2)$$

где  $S_{sk}$  – удельная поверхность  $\text{m}^2/\text{m}^3$ .

Определение удельной поверхности представляет известные трудности, поэтому для преодоления возникшей трудности к решению задачи подойдем с позиции внешней задачи гидродинамики.

Используя приведенные выше обозначения, предположим, что в слое находится ( $n$ ) частиц произвольной формы, тогда объем одной частицы равен (3)

$$V_p = \frac{V_p}{n} = \frac{S \cdot H \cdot (1 - \varepsilon)}{n} \quad (3)$$

Объем одной частицы также можно выразить исходя из её геометрической формы  $V_p = \frac{\pi \cdot d_e^3}{6}$ , тогда отношение поверхности частицы к его объему равен (4)

$$\frac{f_p}{V_p} = \frac{S \cdot H \cdot S_{sk}}{n} \frac{n}{S \cdot H \cdot (1 - \varepsilon)} = \frac{S_{sk}}{(1 - \varepsilon)}, \quad (4)$$

В то же время очевидно, что  $\frac{f_p}{V_p} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{F} \frac{6}{\pi \cdot d_e^3} = \frac{6}{F \cdot d_e}$ , при сравнении которого с (4) получим (5)

$$S_{sk} = \frac{6 \cdot (1 - \varepsilon)}{F \cdot d_e}, \quad (5)$$

где  $F$  - коэффициент формы частиц, приводимый в справочниках.

Подставив (2) в (5), получим формулу (6)

$$d_k = \frac{2\varepsilon}{3 \cdot (1 - \varepsilon)} \cdot F \cdot d_e, \quad (6)$$

Принимая из справочника  $F = 0,9$ ; коэффициент пористости  $\varepsilon = 0,3 - 0,45$  (пористость песка месторождения Кульсары, например, равна 44%) [16]; преобладающая фракция песка в его гранулометрическом составе  $d=0,14$  мм можно получить эквивалентный диаметр каналов, равный  $d_k = (3,62 - 6,86) \cdot 10^{-2}$  мм  $> 10^{-2}$  мм. Следовательно при свободной пропитке вязущего вещества влиянием сил тяжести пренебречь, строго говоря, нельзя. Это означает, прежде всего, что исследование процесса пропитки следует проводить на физических моделях. Это тем более справедливо, если учесть, что гранулометрический состав подвижных песков пустынь также представлен неосновными фракциями, колеблющимися в пределах от 0,5 до 20%

(табл.1) и широким спектром минералов. Следует отметить, что попытки объяснения процесса пропитки гомогенных пористых материалов численными методами [21, 23] в приложении к условиям пропитки реальных песков в песчаной пустыне не совсем применимы.

## 2.2. Особенности пропитки

Из условия сохранения объема жидкости до и после пропитки объем пропитанной жидкости ( $Q$ ) должен быть равен объему пор субстрата в пропитанном слое ( $Q_1$ )  $Q=Q_1$ . Имея  $Q_1=Q_2 \cdot \varepsilon$ , где  $Q_2$  – объем песка, пропитанного жидкостью,  $\varepsilon$  - объемная пористость, получим  $Q=Q_2 \cdot \varepsilon$ . Полагая равными площадь песка и площадь, пропитываемая химическим мелиорантом ( $\omega=\omega$ ), получим (7)

$$\delta = h_k / \varepsilon, \quad (7)$$

где  $\delta$  - расход, выраженный начальной толщиной жидкости над поверхностью песка, мм.

Нарушение условия сохранения объема, когда  $\delta \neq h_k / \varepsilon$ , приводит к введению в зависимость (7) коэффициента пропорциональности (8)

$$\delta = h_k \cdot k_r / \varepsilon, \quad (8)$$

где  $k_r$  - параметр пропорциональности, названный коэффициентом насыщения песка химическим мелиорантом.

Поскольку  $\varepsilon_a < \varepsilon$ ,  $\varepsilon_i < \varepsilon$  и  $\varepsilon = \varepsilon_a + \varepsilon_i$ , то всегда при свободном пропитывании песка многокомпонентными, неильтоновскими жидкостями глубина пропитки будет больше теоретически возможной величины  $h > \delta / \varepsilon$ . Поэтому значения коэффициента насыщения менее единицы вполне правдоподобны  $k_r < 1$ , близкие и более единицы  $k_r \geq 1$  свидетельствуют, что наступил предел насыщения песка в данных условиях и начальный объем химического мелиоранта  $q_i \sim \delta$  не пропитался полностью. С технологической точки зрения превышение расхода химического мелиоранта  $q_i > q_{max}$  больше максимальной не приемлемо с точки зрения ресурсосбережения. Т.е. исследование строительно-технологических характеристик защитного слоя должны находиться в области значений  $k_r \leq 1$  так, чтобы  $q_i \leq q_{max}$ .

Перенос эмульсий сопровождается избирательным смачиванием зерен песка водой. Образуется тонкая пленка жидкости, а дисперсная фаза химического мелиоранта, состоящая из эмульгированных частичек (согласно [15, 22]), переносятся пробкообразно.

При пропитке растворами и многокомпонентными жидкостями [16] размеры пор сужаются в процессе пропитки и, как следствие, наблюдается неустойчивый характер движения фронта жидкости из-за избирательной адсорбции на гидратный слой поверхности песчаных частиц дисперсной фазы химического мелиоранта, которые диффундируют из её объема. Это явление было подтверждено в работах [15 - 17]. В результате это приводит к уменьшению радиуса наименьших проходов между соприкасающимися частицами и изменению характера переноса от преимущественно гравитационного на капиллярный. Таким образом, получены вполне однозначные доказательства информативности коэффициента насыщения для вскрытия характера пропитки. Его значения, вычисленные во всём диапазоне варьирования факторов, близкие к единице  $k_n \approx 1$ , означают, что данное вяжущее при проникании в песок не разделяется, поровое пространство не сужается, а процесс протекает под преимущественным влиянием поля сил тяжести. Если значения коэффициента насыщения меньше единицы ( $k_n < 1$ ), и, в диапазоне варьирования факторов изменяется, то это означает, что данное вяжущее при проникании в песок разделяется, а процесс пропитки протекает при сужении порового пространства под преимущественным влиянием поля капиллярных сил.

С технологической точки зрения эти обстоятельства определяют выбор режима пропитки и расход химического мелиоранта. Очевидно, что для эмульсий максимальный расход определен значением коэффициента насыщения  $k_n \approx 1$ , тогда как для растворов и высокомолекулярных веществ  $k_r \leq 1$ . Во всех случаях значения, близкие к единице  $k_r \approx 1$ , указывают на достижение максимального расхода химического мелиоранта. Превышение расхода  $k_r > 1$  не допустимо. С учетом этого предложена классификация, которая позволяет выявить максимальный уровень расхода химического мелиоранта при исследовании новых его видов и разработать на их основе новые варианты технологий закрепления подвижных песков (табл.2).

Таблица 2  
Характер пропитки

Характер пропитки	Вид вяжущего	Значения коэффициента насыщения
без разделения вяжущего	эмulsionи	$0,95 < k_n < 1$
с разделением вяжущего	многокомпонентные	$0,55 < k_n < 0,95$
	растворы	$0,65 < k_n < 0,95$
предел насыщения, соответствующий		$q > q_{max}; k_n \geq 1$

Это обстоятельство наталкивает также на мысль использовать особенности характера пропитки песка вяжущими веществами для повышения ресурсосбережения и удешевления способа. Для этого следует уменьшить размеры канала образуемого между частицами песчаного субстрата. Например, пропитывать песок во влажном состоянии, т.е. работы по закреплению подвижных песков разбрызгиванием вяжущих веществ осуществлять сразу после дождя или производить вслед после искусственного увлажнения песка.

### 3. ВЫБОР КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ЗАЩИТНОЙ КОРКИ

Из анализа литературных и нормативных источников были установлены требования, предъявляемые к противодефляционным защитным покрытиям: модуль быстрой эластической деформации  $E_1 < 8 \times 10^6$  Па, модуль медленной эластической деформации  $E_2 < 1,1 \times 10^6$  Па, равновесный модуль упругости  $E < 4,4 \times 10^6$  Па, наибольшая пластическая вязкость  $\eta > 1,05 \times 10^6$  Па с [14]. В отдельных работах отмечается, что основными критериями оценки оптимальной структуры защитного слоя могут быть также деформации чистого сдвига: эластичность  $\lambda$ , статическая пластичность и период пластической истинной релаксации [17]. Таким образом, состояние защитной корки оценивается многими показателями. Только для выяснения возможности осуществления основного технологического приема физико-химического метода закрепления песков – пропитки вяжущего вещества и получения устойчивого защитной корки необходимо проведение достаточно большого объема экспериментальных исследований. Кроме того, все многообразие физико-механических характеристик и параметров могут быть в обобщенном виде выражены пластической прочностью  $P_m > 3 \times 10^3$  Па [18]. Учитывая эти обстоятельства исследования предложено проводить в два этапа: на первом этапе производится оценка возможности применения того или иного вяжущего по степени пропитки и пластической прочности, затем, при положительном результате; на втором этапе углубленное изучение свойств защитной корки.

### 4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате экспериментальных работ, выполненных в лабораторных условиях, были определены составы и возможные концентрации вяжущих веществ. Для повышения пластичности получаемого защитного покрытия на основе декстрина он был модифицирован гомосиполовой смолой (1 часть к 4 частям декстрина), растворяющейся в воде в присутствии гидроксида натрия (1 часть к 6 частям декстрина), и концентрация декстрина в водном растворе составляла 2-2,2%. Концентрация полимерного клея в водном растворе вяжущего составляла 1,5%.

Результаты исследований показали, что пропитка начинается при влажности менее 22 %. Предельная влажность, при которой пропитка достигает максимальной глубины, колеблется в пределах 20-21%.

Заданные корки получали путем разбрызгивания раствора на сухой и влажный песок. При этом удельный расход варьировался от 0,5 до 3 л/м<sup>2</sup>.

Таблица 3  
Зависимость глубины пропитки растворов от времени (удельный расход вяжущих на сухом песке 3,0 л/м<sup>2</sup>)

Способы пропитки	Время от начала пропитки, с	Глубина слоя от поверхности корки, мм	
		декстрин	клей КП-001
На воздушно-сухом песке (3-5 %)	0	0	0
	1	6	7
	2	10	12
	3	11	11
	4	11	11
На влажном песке (20 %)	0	0	0
	60	6	7
	120	9	10
	180	12	13
	300	15	15
	420	20	20
	480	20	20

Далее рекомендуемые строительно-технологические параметры защитной корки, в частности, пластическая прочность, удельные расходы раствора и концентрации вяжущих веществ (табл. 4, 5).

Таблица 4

Вяжущее на основе:	Строительно-технологические характеристики защитной корки					
	На воздушно-сухом песке			На влажном песке, W = 20 %		
	h	P <sub>m</sub>	q	h		q
декстрина	5		3	5		1,5
полимерного клея	5	4,2-4,5	3,2	5		1,5

Было выявлено, что на влажном песке корка с заданными свойствами получается при меньшем расходе вяжущего, это связано, по-видимому, с характером ее распределения по глубине и зависит от скорости пропитки.

Таблица 5

Рекомендуемые концентрации и удельные расходы рабочих составов вяжущих веществ (растворов)						
Вид вяжущего вещества	Концентрация вяжущего вещества, %	Пластическая прочность корки, P <sub>m</sub> , кПа		Удельный расход раствора вяжущего рабочей концентрации q, л/м <sup>2</sup>		
		полученный на песке		песок		
		воздушно-сухом	влажном	воздушно-сухой	влажный	
Раствор декстрина	2,2	4 -4,5	2,7-3	3,2-3,5	1,5	
Раствор клея КП-001	1,5	1,5	3-5	3,0-3,3	1,5	

В ценах на апрель 2018 года было произведено сравнение экономической эффективности предлагаемых способов пескозакрепления с шестью способами, получившими наибольшее распространение.

По сравнению с составами на основе госспиполовой эмульсии, являющимися самыми экономными из известных, экономия на 1 га при использовании состава вяжущего раствора на основе декстрина составит 1 225 тыс. сум, а при использовании вяжущего раствора на основе полимерного клея – 1 575 тыс. сум.

По сравнению с используемыми в Узбекистане камышовыми клетками экономия на 1 га при использовании состава вяжущего раствора на основе декстрина составит 5 646 тыс. сум, а при использовании вяжущего раствора на основе полимерного клея – 5 996 тыс. сум.

Опытно-производственное внедрение результатов исследования было выполнено в течение 2015-2016 гг. на пескозасыпных участках линии Навои-Учкудук-Мискен железной дороги АО “Ўзбекистон темир йўллари”: в 2015 году на участке Км 273 ПК0+00 – ПК5+00; в 2016 году - Км 274 ПК 0+00 – 2+50 с закреплением песков сухого и влажного состояний полученными составами обработкой полосами.

Производственное внедрение результатов исследований полностью подтвердило эффективность применения разработанных составов растворов и предложенной технологии. Защитные корки, полученные на участках линии железной дороги Навои-Учкудук-Мискен, имели технологические характеристики (прочность  $P_m \geq 2,5$  кПа,  $h \geq 5$  мм), обеспечивающие их устойчивость к действию ветропесчаного потока в течение года.

В результате внедрения новых составов и новой технологии получено снижение трудозатрат на 60 % за счет комплексной механизации работ; экономия на 50 % материалов за счет снижения удельного расхода рабочего состава и концентрации вяжущего вещества на 15 %.

## 5. ВЫВОДЫ

1. Физико-химический метод закрепления подвижных песков, осуществляемый применением различных вяжущих веществ, имеет целью формирование в верхнем слое песка защитной корки. В формировании структуры корки и ее физико-механических свойств важное значение имеет пропитка песка рабочим составом вяжущего вещества, которую можно рассматривать как безнапорное движение вещества в пористом теле песчаного субстрата. Тогда, процесс пропитки можно сформулировать как задачу гидродинамики.

2. Совместным рассмотрением задача гидродинамики с внутренней и внешней позиций с учетом гранулометрического состава средне и хорошо сортированного песка получен эквивалентный диаметр порового пространства для реальных подвижных песков, что позволило утверждать, в итоге, что пропитка происходит под преимущественным влиянием гравитационных сил. Для обеспечения равномерности пропитки и более полного насыщения порового пространства вяжущим веществом необходимо, чтобы пропитка происходила под преимущественным влиянием капиллярных сил.

3. Для достижения капиллярного характера пропитки вяжущего вещества предложено увлажнять песок естественным или искусственным способом. Тогда сольватный слой пленки влаги увеличиваясь уменьшает поровое пространство песка. При этом концентрация вещества в рабочем составе и его удельный

расход также уменьшаются, что открывает перспективу создания ряда альтернативных ресурсосберегающих технологических решений закрепления подвижных песков физико-химическим методом.

4. Предложен экспресс-метод исследования возможности применения вяжущих веществ для создания пескозащитных корок, основанный на научно-обоснованном сокращении количества исследуемых характеристик до двух – толщины корки и ее пластической прочности.

5. Выявлен фактор влажности песка, как источник снижения расхода вяжущего для получения защитной корки на 10-15 % и увеличения периода времени, пригодного для проведения пескозакрепительных работ, что позволило усовершенствовать технологию пескозакрепительных работ путем введения операции предварительного увлажнения песчаного основания.

6. Разработаны составы для закрепления подвижных песков на основе вяжущих местного производства - декстрин и клея КП-001:

- декстрин – 2,2%; NaOH – 0,4%; ГС (пластификатор) – 0,6%; вода – 96,8%.

- клей КП – 001 - 1,5 %; вода – 98,5, обеспечивающие требуемую устойчивость образующейся защитной корки к ветропесчаному потоку.

7. Как показали расчеты технико-экономической эффективности, применение разработанных составов растворов вяжущих для получения защитной корки и усовершенствованной технологии пескозакрепления позволяют сократить трудозатраты на 60 %, получить снижение расхода вяжущих - на 50 %, повысить всхожести семян песколюбивых растений (фитомелиорации) на 15 %.

## 6.ЛИТЕРАТУРА

1. Laity, Julie J. (2009). *Deserts and Desert Environments*: Volume 3 of Environmental Systems and Global Change Series. John Wiley & Sons. pp. 2-7, 49. ISBN 978-1-4443-0074-1.
2. Pye, K. Tsoar, H. (2009) *Aeolian Sand and Sand Dunes*/ Springer, 10.1007/978-3-540-85910-9.
3. Z. Dong, G. Chen, X. He, Z. Han, X. Wang (2004) Controlling blown sand along the highway crossing the Taklimakan Desert/ *J. Arid Environ.*, 57 (2004), pp. 329-344, 10.1016/j.jaridenv.2002.02.001.
4. Han Zhiwen, Dong Zhibao, Wang Tao, Chen Guangting, Yan Changzhen, Yao Zhengyi. Observations of several characteristics of aeolian sand movement in the Taklimakan Desert/ *Science in China Series D: Earth Sciences*. January 2004, Vol. 47, Issue 1, PP. 86-96.
5. Jabbar Ali Zakeri. Investigation on railway track maintenance in sandy-dry areas/ *Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance*. Vol. 8, Issue 2, 2012.
6. Hagdorn M., Busche D., Draga M. Les sables éoliens, modèles et dynamique. La menace éolienne et son contrôle. *Bibliographie annotée*. Deutsche. GesTechnZusammenarbeit (GTZ), *Schifffereibe* N01, 122, 1984 (1985), p. 758 (2100 références).
7. Khalaf, F.I., Al-Ajmi, D. A eolian processes and sand encroachment problems in Kuwait. Kuwait Institute for Scientific Research / *Geomorphology*. 1993. Vol. 6. Issue 2. P. 111-134.
8. M. Heffernan (2010) *Engineering Earth - the Impacts of Mega engineering Projects*. Springer Netherlands. Chapter Shifting Sands: the Trans-saharan Railway. 10.1007/978-90-481-9920-4.
9. L. Raffaele, L. Bruno, D. Fransos, F. Pellerey Incoming windblown sand drift to civil infrastructures: a probabilistic evaluation/ *J. Wind Eng. Industrial Aerodynamics*, 166 (2017), pp. 37-47, 10.1016/j.jweia.2017.04.004.
10. J.S. Plaza, M.L. Barcel, P.R. de Lema Tapetado. Sand and wind: an outline of the study of éolian action on infrastructure with reference to Haramain high speed railway, Makkah-Al-Madinah/ *Rev. Obras Publicas*, 159 (2012), pp.7-36. Available at:  
[http://ropdigital.ciccp.es/detalle\\_articulo.php?registro=19202&anio=2012&numero\\_revista=3537](http://ropdigital.ciccp.es/detalle_articulo.php?registro=19202&anio=2012&numero_revista=3537).
11. Jabbar-Ali Zakeri1, Maryam Forghani. Railway Route Design in Desert Areas/ *American Journal of Environmental Engineering*. 2012, 2(2): p.13-18. DOI: 10.5923/j.ajee.20120202.03.
12. T. Hewitt (2015) Designing a heavy haul desert railway: lessons learned// *11th International Heavy Haul Conference*, (ИИНА 2015), Operational Excellence, Perth, Western Australia, pp. 228-237.
13. Rail - первая железная дорога ОАЭ / Железные дороги мира. № 6, 2016. [In Russian: Rail - UAE's first railway / *World Railways*. No 6, 2016] Available at: <http://railknowledgebank.com/Presto/content/Detail.aspx>.
14. Freer, R.J., Hewish, F. Ghataora, G.S., Niazi, Y. (1999) Stabilization of desert sand with cement kiln dust plus chemical additives in desert road construction// *Proceedings of the ICE - Transport*. 1999. Vol. 135. Iss.1. P. 29 -36.
15. J.F. Kok, E.J.R. Parteli, T.I. Michaels, D.B. Karam. (2012) *The physics of wind-blown sand and dust*/ *Rep. Prog. Phys.*, 75 (2012), p. 106901, 10.1088/0034-4885/75/10/106901.
16. Mirakhmedov, M.M., Muzaffarov, M. Methodological aspects of the developpement of resource-seving technologies of shifting sands fixation. *19. Internationale Baustofftagung* 16.-18 September 2015. Weimar: Bauhaus-Universität, 2015. PP. 2-1203 - 2-1209.
17. Мирахмедов, М. Основы методологии организации пескозакрепительных работ и защита природно-технических объектов от песчаных заносов. Ташкент: Фан ва технологиялар. 2016. 248 с. [In Uzbekistan: Mirakhmedov, M. (2016) *Fundamentals of the methodology of organizing work on fixing sand and protecting natural and technical objects from sand drifts*. Tashkent: Science and technology].
18. Makhamadjan Mirakhmedov, Maujuda Muzaffarov. Integrated Solution to the Problem of Resource-Saving Fixing of Moving Sands/ *Civil Eng Res J*. 2019; 7(5): 555723. DOI: 10.19080/CERJ.2019.07.555723.

19. Лыков, А.В. *Тепломассообмен*. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Энергия, 1978. - 480 с. [In Russia: Lykov, A.V. (1978) *Heat and mass transfer*. 2nd ed., Moscow: Energy].
20. К.В. Зотов, Т.Н. Кучурина. (2014) Основы моделирования массопереноса в пористой среде. Учебное пособие. Часть 1.. СПбГУ, 2014. 34 с. [In Russian: Zotov, K.V., Kuchurina, T.N. (2014) *Fundamentals of modeling mass transfer in a porous medium*. Tutorial. Part 1 . St. Petersburg State University].
21. Pabst, W. Characterization of particles and particle systems / W. Pabst, E. Gregorova // ICT Prague. 2007. 122 p. *L'eau et les sols - Hydrodynamique des milieux poreux*. Available at: <https://www.edx.org/course/leau-et-les-sols-hydrodynamique-des-milieux-poreux>.
22. Klaus Reichardt, Lu's Carlos Timm, Durval Dourado-Neto. (2016) The recent similarity hypotheses to describe water infiltration into homogeneous soils/ *Scientia Agricola*, Piracicaba, Brazil, 2016, vol.73 No.4 Available at: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0364>.
23. Cheremisinoff, N.P. *Liquid Filtration*. Butterworth-Heinemann, 28.07.1998. 319 p. Available at: [https://books.google.com/books/about/Liquid\\_Filtration.html](https://books.google.com/books/about/Liquid_Filtration.html).
24. Nicholas, P. Cheremisinoff. *Liquid Filtration*. Butterworth-Heinemann, 28 июл. 1998. -319 p. Available at: [https://books.google.com/books/about/Liquid\\_Filtration.html](https://books.google.com/books/about/Liquid_Filtration.html).
25. Takahiro Nomura, Noriyuki Okinaka, Tomohiro Akiyama. Impregnation of porous material with phase change material for thermal energy storage. *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 115, Iss. 2–3, 15 June 2009, P. 846-850. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2009.02.045>.

## **RATIONING TIRE MILEAGE OF NefAZ SHIFT BUSES IN THE CONDITIONS OF THE «AMMP»**

**O. KASIMOV**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

**U. YUSUPOV**, doctoral student

**J. NARZIYEV**, graduate student

Tashkent institute of design, construction and maintenance of automobile roads

20, Amir Temur av., Tashkent, Uzbekistan, 100060

Tel. +998(90)176-05-24, +998(90)120-80-73

E-mail. umidyusupov20161978@gmail.com

**Abstract.** The article analyzes the results of the experimental controlled tire of the bus NefAZ 4208-03, used for transporting «AMMP» employees to various facilities, using the method of mathematical statistics and calculation of tire mileage.

**Key words.** Shift bus, tire wear, math statistics, tread depth, actual mileage, wear rate.

## **«АГМК» ШАРОИТИДА ИШЛАТИЛАЁТГАН NefAZ ИШЧИЛАР АВТОБУСИНИ ШИНАЛАРИ ЮРИШИНИ МЕЁРЛАШ**

**О. КАСИМОВ**, т.ф.н., доцент

**У. ЮСУПОВ**, таянч докторант

**Ж. НАРЗИЕВ**, магистрант

Тошкент автомобиль йўлларини лойиҳалаш, куриш ва эксплуатацияси институти

100060, Тошкент, Амир Темур шоҳ кўч., 20

Тел. +998(90)176-05-24, +998(90)120-80-73.

E-mail. omilkasimov@gmail.com, umidyusupov20161978@gmail.com

**Аннотация:** Мақолада АГМК ишчиларини турли хил объектларга ташиш учун фойдаланилаётган, назорат остига олинган НефАЗ 4208-03 автобуси шиналари юришини, тадқиқот натижаларини математик статистика усули асосида тахлил қилиш орқали, автомобиль шиналари юришини ҳисоблаш келтирилган.

**Калит сўзлар:** Ишчилар автобуси, шина едирилиши, математик статистика, протектор чуқурлиги, ҳақиқий юриш, едирилиш жадаллиги.

## **НОРМИРОВАНИЕ ПРОБЕГА ШИН ВАХТОВЫХ АВТОБУСОВ NefAZ В УСЛОВИЯХ «АГМК»**

**О. КАСИМОВ**, к.т.н., доцент

**У. ЮСУПОВ**, докторант

**Ж. НАРЗИЕВ**, магистрант

Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог.

100060, Узбекистан, Ташкент, пр. А. Тимура, 20

Тел. +998(90)176-05-24, +998(90)120-80-73

E-mail. omilkasimov@gmail.com, umidyusupov20161978@gmail.com

**Аннотация:** В статье анализируются результаты эксперимента контролируемой шины автобуса НефАЗ 4208-03, используемого для перевозки работников АГМК на различные объекты, с использованием метода математической статистики и расчета пробега автошин.

**Ключевые слова:** Вахтовый автобус, износ шин, математическая статистика, глубина протектора, фактический пробег, интенсивность износа.

### **1. ВВЕДЕНИЕ**

Шины - дорогостоящее изделие. По существующим ценностным соотношениям на шины приходится до 30 % полной стоимости грузового автомобиля, а для некоторых марок грузовиков – до 40 %. Но за весь срок службы автомобиль изнашивается несколько комплектов шин, стоимость которых, как правило, превышает его начальную стоимость [1,3].

Как новая, так и восстановленная шина должна выдерживать высокие скорости, большие динамические нагрузки, быть устойчивой по габаритам, хорошо сопротивляться пробою при сосредоточенной нагрузке, обеспечивать плотность посадки борта и т.д. Поэтому в шине, прежде всего, должен быть прочный и

работоспособный каркас [2,3]. Срок службы шины в целом и относительная долговечность ее конструктивных элементов зависят от многих условий. Одни из них связаны с производством, другие – с эксплуатацией шин.

На протяжении последних 10 лет, наряду с повышением прочности каркаса непрерывно возрастает роль эксплуатационных факторов, влияющих на долговечность основных элементов шин. И здесь также общий баланс условий складывается не в пользу протектора. Решающее значение в этом отношении имеет рост скоростей движения автомобилей и требования повышения безопасности движения.

Работоспособность любых изделий, в том числе пневматических шин определяется исправностью их составных частей. Однако, ресурс различных деталей изделия, т.е. их наработка до состояния, исключающего возможность дальнейшей эксплуатации, может быть не одинаковым. В зависимости от этого различают изделия равно и не равнопрочной, или долговечной конструкции. В условиях эксплуатации при высоких скоростях движения соображения безопасности требуют, чтобы ресурс каркаса и борта значительно превышал ресурс протектора. Следовательно, износ протектора, приводящий к потере работоспособности шины, наступает, как правило, в момент, когда ресурс остальных деталей еще далеко не исчерпан [3,5].

Необходимо иметь в виду, что неисправность шин может быть вызвана не только износом протектора. Специфика эксплуатации шин состоит в чрезвычайном разнообразии дорожных, климатических и других условий. Даже при самом строгом соблюдении правил эксплуатации в результате случайных причин, возникающих в конкретных дорожных ситуациях, возможны повреждения (дефекты), препятствующие дальнейшей эксплуатации (проколы, пробои, порезы и т. д.) [2,4].

Особые природно-климатические и дорожные условия эксплуатации специализированных автомобилей ОАО «АГМК» отрицательно влияют на работоспособность автомобилей, их агрегатов и механизмов, особенно на пневматические шины. Происходит интенсивное изнашивание шин из-за сильной загруженности, вибрации работающих агрегатов, движении по внедорожным условиям. Анализ эксплуатации автошин в условиях ОАО «АГМК», показал, что фактический их пробег ниже норм, установленных в руководящем документе O'zRh 52.006:2009 «Нормы эксплуатационного пробега шин». Возникла необходимость разработки научно обоснованной нормы пробега автошин с учетом реальных условий ОАО «АГМК» и повысить надежность и безопасность автотранспортных средств.

Поэтому целью настоящего исследования является разработка проекта норм пробега автомобильных шин специализированных транспортных средств методами математической статистики на примере условий «АГМК» [6].

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

С целью повышения достоверности, исследований ходимости шин вахтовых автобусов НефАЗ-4208-03 и НефАЗ-42111-01, принадлежащих, а/б №3 УАТ АГМК, используемых при перевозке работников по различным объектам АГМК, которые по условиям эксплуатации относятся к категории – V<sub>b</sub>, той же, где эксплуатируются и подконтрольный автобус НефАЗ-4208-03 №10.493QAA, были собраны статистические данные по пробегам шин данных автобусов до их списания за 2017 и 2018 гг.

Вахтовый автобус НефАЗ-4208-03, №10.493QAA находился под наблюдением в подконтрольной группе автомобилей с 26 марта по 27 ноября 2018 г. За этот период автобус совершил пробег 29186 км и через определенный интервал, пробега на нем было совершено 8 подконтрольных замеров глубины (высоты) протектора шин на всех колесах [8].

Начальная глубина (высота) протектора новых шин автобуса, установленных 26 марта 2018 г. составляла 24,8 мм.

Результаты замеров высоты протектора и расчета износа представлены в таблице 1.

Для наглядности протекания процесса износа результаты таблицы 1. представлены на рисунке 1. в виде графика износа протектора каждой шины.

Результатов замеров, представленные в табл.1. дают картину изменения высоты протектора на общем пробеге, достигшем до даты замера, и не отражают величину износа протектора на каждом отдельном интервале, а также интенсивность износа. Под интенсивностью износа понимается элементарная «скорость», с которой происходит износ протектора шин на данном интервале.

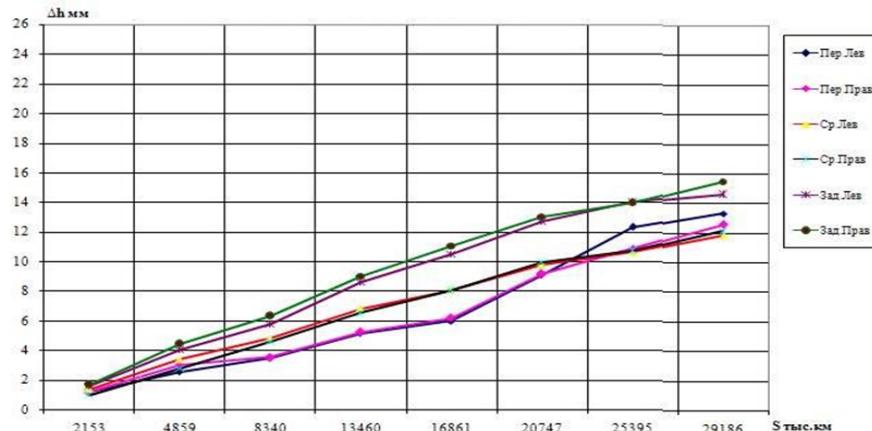


Рис. 1. Износ протектора каждой отдельной шины.

Таблица 1.

## Карточка учёта исследований износа шин вахтового автобуса НЕФАЗ – 4208–03, гос.№ 10 493 QAA

	Дата измер.	26.03.18	16.04.18	13.05.18	18.06.18	23.07.18	20.08.18	23.09.18	24.10.18	27.11.18
	Пробег, км	0,00	2153	4859	8340	13146	16861	20747	25395	29186
№	№ а/и и место установки	Завод изг.								
1	Передний левый	ОШЗ	24,8	0	23,60	1,20	22,20	2,60	21,26	3,54
2	Передний правый	ОШЗ	24,8	0	23,60	1,20	21,80	3,00	21,25	3,55
3	Средний левый	ОШЗ	24,8	0	23,40	1,40	21,40	3,40	19,97	4,83
4	Средний правый	ОШЗ	24,8	0	23,80	1,00	22,03	2,77	20,22	4,58
5	Задний левый	ОШЗ	24,8	0	23,20	1,60	21,07	3,73	19,01	5,79
6	Задний правый	ОШЗ	24,8	0	23,10	1,70	21,25	3,55	18,90	5,90

Таблица 2.

Износ и интенсивность износа протектора шин вахтового автобуса НефАЗ – 4208- 03, № 10493QААна каждого подконтрольном интервале пробега.

№	№ а/ш и место установки	Завод изг.	Масса установки	Протяженность интервала, км	Износ и интенсивность износа протектора шин вахтового автобуса НефАЗ – 4208- 03, № 10493QААна каждом подконтрольном интервале пробега.	
					Масса износа, кг	Интенсивность износа, кг/км
1	Пер.лев.	ОШЗ	0,00	0,00	1,20	0,557
2	Пер.прав.	ОШЗ	0,00	0,00	1,20	0,557
3	Сред.лев	ОШЗ	0,00	0,00	1,40	0,650
4	Сред.прав.	ОШЗ	0,00	0,00	1,00	0,464
5	Задн.лев.	ОШЗ	0,00	0,00	1,60	0,743
6	Задн.прав.	ОШЗ	0,00	0,00	1,70	0,790
					2153	2706
					2153	3481
					26.03.18 г.	16.04.18
					Дата измер.	Границы интервала, км
					Пробег, км	
						Износ и интенсивность износа протектора шин вахтового автобуса НефАЗ – 4208- 03, № 10493QААна каждом подконтрольном интервале пробега.
						Таблица 2.

Для детального изучения и определения общего износа протектора шин необходимо рассчитать величину износа протектора шины на каждом интервале пробега, а также интенсивность износа.

Износ шин, изменение высоты протектора, за определенный интервал пробега определяется:

$$\Delta h = h_1 - h_2, \text{мм} \quad (1)$$

где  $h_1$  – высота протектора в начале интервала;  $h_2$  – высота протектора в конце интервала [6].

Интенсивность износа – отношение износа протектора за определенный интервал пробега, к величине протяженности этого интервала.

$$\gamma = \frac{h_1 - h_2}{S_2 - S_1} = \frac{\Delta h}{\Delta S}, \quad \frac{\text{мм}}{\text{тыс.км}} \quad (2)$$

где  $S_1$  – пробег шины в начале интервала;

$S_2$  – пробег шин в конце интервала.

Результаты расчета износа протектора на каждом интервале пробега, а также интенсивность износа приведены в таблице 2.

Чтобы определить ожидаемый ресурс шин, максимально допустимый пробег шин (норму пробега) до снятия с эксплуатации необходимо рассчитать интенсивность износа подконтрольных шин от момента установки новых шин 26.03.18 г. до последнего замера 27.11.18 г., т.е. на интервале пробега протяженностью 29186 км.

Как видно из таблицы 2. интенсивность износа протектора шин имеет разную величину, как в пределах одного и того же отдельно взятого интервала, так и на протяжении всего пробега для каждой шины. Таким образом, величина интенсивности износа, изменяется для каждой шины, при каждом замере и имеет случайный характер.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНОСА ШИН МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Случайные величины интенсивности износа представленные в таблице 2. расположены неупорядоченно в неудобной форме для их обработки и анализа. Поэтому необходимо расположить их в порядке возрастания числовых величин, т.е. составить вариационный ряд случайных величин интенсивности износа протектора [7]

$$\gamma = \gamma_{\min} \longrightarrow \gamma_{\max}$$

так, чтобы

$$\gamma = \gamma_1; \gamma_2; \gamma_3; \dots; \gamma_{n-1}; \gamma_n$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 0,156; 0,158; 0,165; 0,189; 0,215; 0,250; 0,261; 0,275; 0,288; \\ &0,314; 0,336; 0,339; 0,358; 0,359; 0,366; 0,380; \\ &0,408; 0,411; 0,420; 0,420; 0,430; 0,446; 0,464; 0,489; \\ &0,504; 0,507; 0,509; 0,517; 0,519; 0,525; 0,549; \\ &0,557; 0,557; 0,570; 0,585; 0,592; \\ &0,645; 0,650; 0,654; 0,665; 0,675; 0,683; 0,695; \\ &0,739; 0,743; 0,772; 0,787; 0,790. \end{aligned}$$

Общее количество случайных величин в вариационном ряду называется объемом ряда и обозначается  $n=48$ .

Полученный вариационный ряд случайных числовых значений интенсивности износа протектора распределен на равные интервалы размером, «длиной» 0,1 мм/тыс.км и представлен в виде таблицы 3.

В каждом вариационном ряду, интервале располагается определенное количество числовых значений случайной величины, которое обозначается  $m_i$  и называется частотой. Сумма всех частот равна объему вариационного ряда.  $m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n = n$

Таблица 3.

№ интервала	Границы вариационного интервала, мм/тыс.км	Числовые значения случайной величины интенсивности износа приходящиеся на данный интервал, мм/тыс.км	Количество чисел значений случайной величины в интервале, частота $m_i$
1.	0,1 – 0,2	0,156; 0,158; 0,165; 0,189	4
2.	0,2 – 0,3	0,215; 0,250; 0,261; 0,275; 0,288	5
3.	0,3 – 0,4	0,314; 0,336; 0,339; 0,358; 0,359; 0,366; 0,380	7
4.	0,4 – 0,5	0,408; 0,411; 0,420; 0,420; 0,430; 0,446; 0,464; 0,489	8
5.	0,5 – 0,6	0,504; 0,507; 0,509; 0,517; 0,519; 0,525; 0,549; 0,557; 0,570; 0,585; 0,592	12
6.	0,6 – 0,7	0,645; 0,650; 0,654; 0,665; 0,675; 0,683; 0,695	7
7.	0,7 – 0,8	0,739; 0,743; 0,772; 0,787; 0,790	5

Разделив каждую частоту на объем ряда получится относительная частота, частость.

$$\omega_i = \frac{m_i}{n} \quad (3)$$

Частость является эмпирической, приближенной оценкой вероятности  $P$ .

Результаты группировки интенсивности износа протектора таблица 3, а также расчета частостей сводятся в таблицу 4.

Таблица 4.

№ интервала	Границы интервала, мм/тыс.км	Середина интервала, мм/тыс.км	Число значений случ. величины интенсивности износа протектора в интервале, частота $m_i$	Частость (вероятность) $\omega_i \approx p_i$
1	2	3	4	5
1.	0,1 – 0,2	0,150	4	0,083
2.	0,2 – 0,3	0,250	5	0,104
3.	0,3 – 0,4	0,350	7	0,146
4.	0,4 – 0,5	0,450	8	0,167
5.	0,5 – 0,6	0,550	12	0,250
6.	0,6 – 0,7	0,650	7	0,146
7.	0,7 – 0,8	0,750	5	0,104
Всего			48	1

Для наглядного изображения величины и вариации интенсивности износа протектора необходимо представить гистограмму и полигон ее распределения.

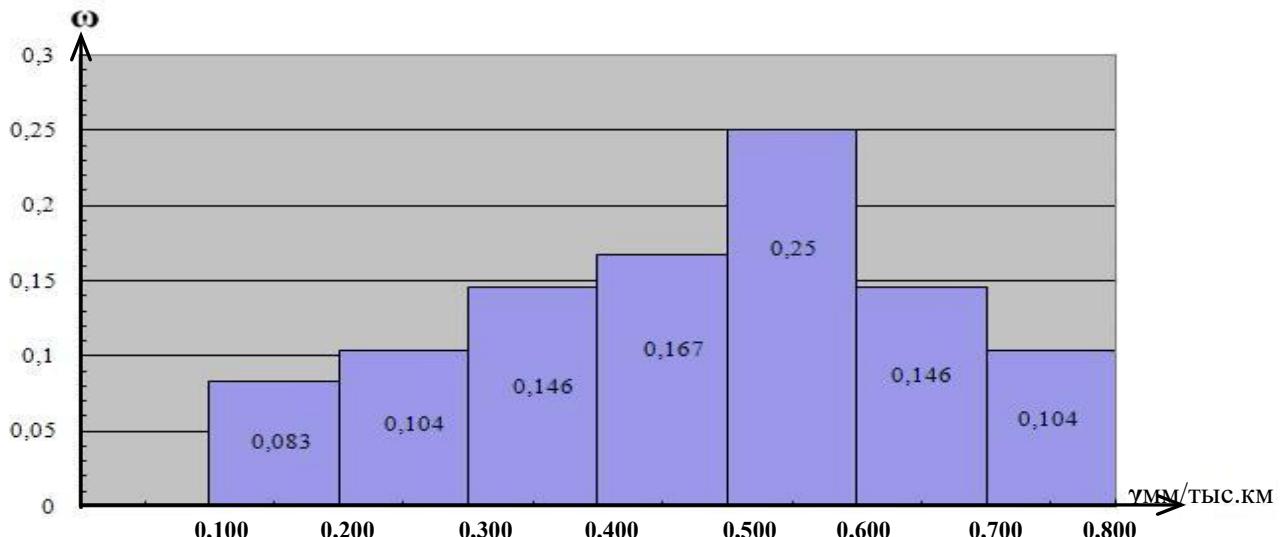


Рис. 2. Гистограмма распределения интенсивности износа протектора

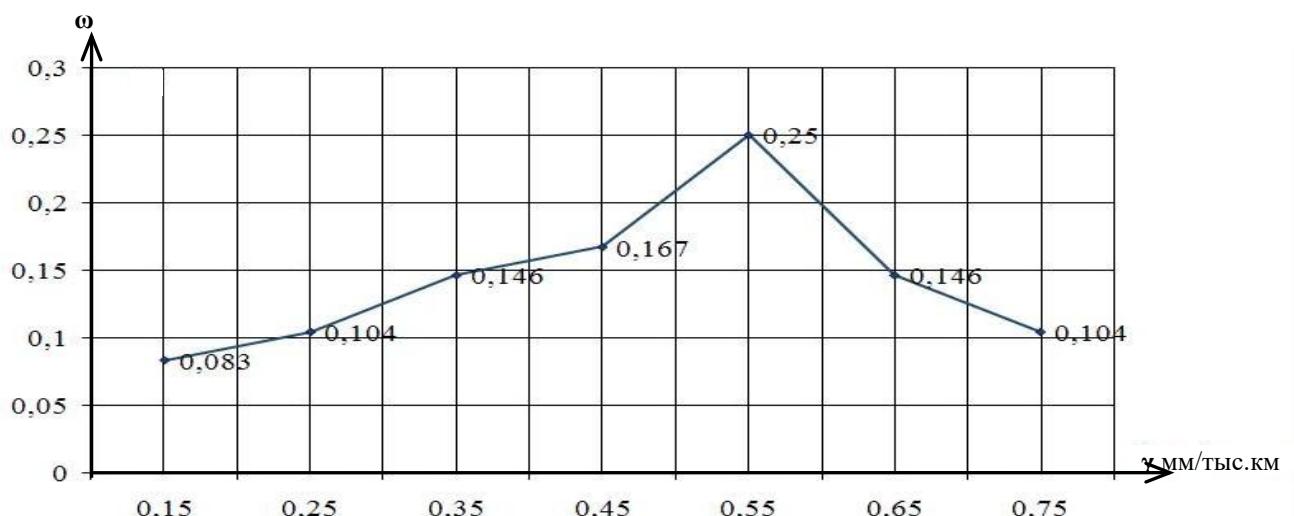


Рис. 3. Полигон распределения интенсивности износа протектора

#### 4. ПРОГНОЗ ПРОБЕГА ШИН

С помощью вышеуказанной таблицы-3, определяем среднеарифметическую интенсивность износа шин и предполагаемый пробег шины в конкретных условиях АГМК для вахтовых автобусов НефАЗ.

$$\begin{aligned} \bar{\gamma} = & \frac{0,156 + 0,158 + 0,165 + 0,189 + 0,215 + 0,250 + 0,261 + 0,275 + 0,288 + 0,314 + 0,336 + 0,339 + \\ & + 0,358 + 0,359 + 0,366 + 0,380 + 0,408 + 0,411 + 0,420 + 0,420 + 0,430 + 0,446 + 0,464 + 0,489 + \\ & + 0,504 + 0,507 + 0,509 + 0,517 + 0,519 + 0,525 + 0,549 + 0,557 + 0,557 + 0,570 + 0,585 + 0,592 + \\ & + 0,645 + 0,650 + 0,654 + 0,665 + 0,675 + 0,683 + 0,695 + 0,739 + 0,743 + 0,772 + 0,787 + 0,790}{48} = \\ & = 0,477 \frac{мм}{тыс.км} \end{aligned}$$

По среднему установленному значению интенсивности износа протектора шин определяется ресурс шин при остаточной допустимой высоте протектора в 1мм. По формуле 2 определим ожидаемый ресурс шин до снятия с эксплуатации:

$$S = \frac{h}{\gamma} = \frac{24.8 - 1}{0,477} = 49,895 \text{ тыс.км} \approx 49895 \text{ км}$$

Максимальный пробег шин до снятия с эксплуатации, рассчитанный на основе обработки экспериментальных данных методом математической статистики, составляет 49895км.

Доказательством достоверности расчетов ходимости шин вахтовых автобусов могут служить также результаты замера высоты протектора шин подконтрольного автобуса НефАЗ-4208-03 № 10.493QAA, сделанных 13.03.19 г. при пробеге от начала эксплуатации подконтрольных шин – 43497км.

Средняя высота протектора шин этого автобуса составляла от 5,5 до 7 мм (рис.4 и 5).



Рис. 4. Состояние подконтрольных шин среднего и заднего правых мостов автобуса НефАЗ-4208-03 № 10.493QAA после пробега 43497км



Рис.5. Состояние подконтрольной шины переднего левого колеса автобус НефАЗ-4208-03 № 10.493QAA после пробега 43497км.

#### 5. ВЫВОДЫ

- При правильной эксплуатации шины ее ресурс определяется главным образом темпом износа протектора, который зависит от ряда факторов. Поэтому основным показателем правильной эксплуатации шины является равномерный износ протектора. Любые отклонения в работе шины вызывают перераспределение сил в пятне контакта, проскальзывание элементов протектора, их неравномерный износ по профилю и контуру [7].
- Анализ статистических данных предельных пробегов тех же шин до списания, установленных на 8 вахтовых автобусов типы НефАЗ, работающих на объектах АГМК, также показал небольшие расхождения с результатами аналогичных расчетов  $\approx 49895$ км.

3. На основе исследований рекомендуется для вахтового автобуса НефАЗ-4208-03, используемого для перевозки работников карьера Кальмакыр до их объектов работы, установить норму пробега для радиальных шин типоразмера 425/85R21 равную 50000 км.
4. С остаточной высотой протектора (5,5-7 мм) вахтовый автобус НефАЗ по прогнозам должен еще проехать до предельно-допустимой высоты протектора в 1мм, 6-7 тыс.км до пробега 49,5-50 тыс. км [8].

## **6. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Кнороз В.И., *Работа автомобильной шины*. М.: «Транспорт», 1976, 238с. [In Russian: Knoroz, V.I. (1976) *The work of a car tire*. Moscow: "Transport"].
2. Мариев П.Л., Кулешов А.А. и др./ *Карьерный автотранспорт. Состояние и перспективы*. Санкт-Петербург, Наука -2004 г. [In Russian: Mariev, P.L., Kuleshov, A.A. and al. (2004) *Quarry vehicles. Status and prospects*. St. Petersburg, Science].
3. В.Н. Тарновский, В.Л. Гудков, О.Б. Третьяков Автомобильные шины М.: Транспорт 1990.-272 с. [In Russian: Tarnovsky, V.N., Gudkov, V.L. O.B. Tretyakov (1990) Car tires Moscow: Transport].
4. Устаров, Р. М. Неравномерность изнашивания протектора шин автомобилей, используемых в горных маршрутах РД / Р. М. Устаров, И. М. Устаров, М. М. Бабаев // Вестник МФ МАДИ (ГТУ): сб. науч. трудов. - Махачкала, 2008. - Вып. № 8. - С. 47-51.
5. Кузнецов Е.С. и др. Техническая эксплуатация автомобилей. Учебник для ВУЗов. Издательство «Наука», 2004, 535 с. [In Russian: Kuznetsov, E.S. and all. (2004) Technical operation of cars. Textbook for high schools. Moscow: Science].
6. Справочник по нормированию ресурса и правилам эксплуатации шин автотранспорта в условиях ОАО «Алмалыкский ГМК», Ташкент. 2018 г. 164 с.
7. Лебедев О.В., Шатманов О.Т., Арипов Ш.Б. *Разработка метода прогнозирования срока службы шин*. Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз. Респ. научно-технич. конференция. 2004.[In Russian: Lebedev, O.V., Shatmanov, O.T., Aripov, Sh.B. (2004) Development of a method for predicting tire life/ Institute of Mechanics and Earthquake Engineering of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan// Rep. scientific and technical conference].
8. Отчет УНЦ «BILIMINTERTRANS» по договору 06-63 с ОАО АГМК «Исследование и установка норм пробега шин для трех типов автотранспорта и строительно-дорожных машин в условиях карьеров ОАО «Алмалыкский ГМК»» 2018 г.

## INTERACTION OF A CUTTER OF A ROAD MILL (DF) WITH ASPHALT CONCRETE

**Tulkun Ishanovich ASKARXODJAYEV\***, DSc, Professor.

**Sharofiddin Asatullayevich PIRNAEV**, research seeker

Tashkent Institute of Design, Construction & Maintenance of Automotive Roads

Department "Repair and maintenance of road-building machinery and equipment "

20, A.Timur ave, 100060, Tashkent, Uzbekistan

Tel. (71) 233-70-83, Sharofiddinpirnaev928@gmail.com

\*E-mail: Sharofiddin2306@mail.ru

**Abstract.** This article discusses the equations of geometric relationships of the links of the road mill, a mathematical model of the reaction force of the medium being developed on the milling drum, changing the position of the tooth during rotation of the drum and moving the machine, determining the contact angle of the cutter.

**Key words:** road mill, working body, reaction force, cutting of asphalt concrete.

## **ЙЎЛ ФРЕЗАСИ (ЙФ) ТИШЛАРИНИНГ АСФАЛЬТБЕТОН ҚОПЛАМАЛАРИ БИЛАН ЎЗАРО ТАЪСИРИ**

**Тулкун Ишанович АСКАРХОДЖАЕВ\***, т.ф.д., профессор,

**Шарофиддин Асатуллаевич ПИРНАЕВ**, мустакил изланувчи

Тошкент автомобиль йўлларни лойиҳалаш, куриш ва эксплуатация институти

«Йўл қурилиш машиналари ва жихозларини таъмирлаш ва эксплуатацияси» кафедраси

100060, Ўзбекистон, Тошкент ш., А.Тимур проспекти, 20 уй

Tel. (71) 233-70-83, Sharofiddinpirnaev928@gmail.com

\*E-mail: Sharofiddin2306@mail.ru

**Аннотация.** Ушбу маколада йўл фрезасини асфальт билан боғланишларининг геометрик муносабатларининг тенгламалари, фрезалаш мобайнида ишлов бериладиган муҳитнинг таъсир кучининг математик модели, барабанни айлантириши ва машинани силжитиш пайтида тишнинг ўрнини ўзгартириш, тишнинг илашиш бурчагини аниқлаш.

**Таянч тушунчалар:** йўл қурилиш фрезаси, ишчи жихози, таъсир этувчи кучлар, асфальтбетонни кесиш.

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РЕЗЦА ДОРОЖНОЙ ФРЕЗЫ (ДФ) С АСФАЛЬТОБЕТОНОМ**

**Тулкун Ишанович АСКАРХОДЖАЕВ\***, д.т.н., профессор,

**Шарофиддин Асатуллаевич ПИРНАЕВ**, соискатель

Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог

Кафедра «Ремонт и эксплуатация дорожно-строительной техники и оборудования»

100060, г.Ташкент, проспект А.Темура, дом-20

Tel. (71) 233-70-83, Sharofiddinpirnaev928@gmail.com

\*E-mail: Sharofiddin2306@mail.ru

**Аннотация:** в данной статье рассматриваются уравнения геометрических связей звеньев дорожной фрезы, математическая модель силы реакции разрабатываемой среды на фрезерный барабан, изменение положения зуба при вращении барабана и перемещении машины, определение угла контакта фрезы.

**Ключевые слова:** дорожная фреза, рабочий орган, сила реакции, резание асфальтобетона.

### 1. Введение

Автомобильная дорога рассчитана на определенный срок службы, в течении которого она подвергается различного рода воздействиям транспорта и погодноклиматических факторов. Самым первым и наиболее не защищенным ее элементом, испытывающим такие воздействия, является асфальтобетонное покрытие. Практикой установлено, что поверхность покрытия, нуждающаяся в локальном текущем ремонте, ежегодно может составлять до 2-3 % от общей площади покрытия дороги или ее участка. Когда серьезные повреждения и дефекты достигают 12-15 %, общепринято ставить на ремонт 100 % этой площади. Особый вид техники, применяемый при проведении разнообразных ремонтных работ дорожного покрытия и проведении дорожностроительных работ, называется дорожной фрезой [1,2,3].

### 2. Математическая модель рабочего процесса дорожной фрезы при разрушении асфальтобетона

Дорожная фреза для холодного фрезерования - самоходная машина на колесном или гусеничном шасси, в нижней части которой размещается фрезерный барабан [4,15,16]. При проектировании дорожной фрезы

одним из этапов является исследование статических и динамических характеристик на основе адекватной математической модели. Основой математической модели является расчетная схема.

Для составления расчетной схемы математической модели машины были приняты следующие допущения [5,6]: рассматриваются изменения вертикальных координат звеньев расчетной схемы; машина представлена в виде многозвенника, отражающего раму машины с двигателем, трансмиссией, передний ведомый мост, задний ведущий мост, а также фрезерный барабан; рабочий орган (РО) зафиксирован относительно рамы гидроцилиндрами; звенья многозвенника абсолютно жесткие; колеса от опорной поверхности не отрываются и имеют с ней точечный контакт.

С учетом принятых допущений была составлена упрощенная пространственная расчетная схема дорожной фрезы, которая представлена на рисунке 1.

Рама машины, включающая в себя остав, двигатель, редуктор, установку гидросистемы, ходовое оборудование задается системой координат  $O_1X_1Z_1Y_1$ . Центр тяжести машины находится в точке  $O_1$ . Фрезерный барабан, включающий в себя барабан с поддерживающей рамой и опорными гидроцилиндрами, задается системой координат  $O_2X_2Z_2Y_2$ . Центр тяжести РО находится в точке  $O_2$ . Передний ведомый мост, включающий в себя элементы ходового оборудования, задается системой координат  $O_3X_3Z_3Y_3$ . Центр тяжести переднего моста находится в точке  $O_3$ .

Для выполнения расчетов в инерциальной системе координат  $O_0X_0Z_0Y_0$  задается плоскость отсчета, проходящая через оси  $O_0X_0$  и  $O_0Y_0$ .

Расстояния до ходового оборудования и РО от этой плоскости обозначены:  $Z_{\text{Л1}}$  – вертикальная координата левого ведомого переднего колеса;  $Z_{\text{Л2}}$  – вертикальная координата левого ведущего заднего колеса;

$Z_{\text{П1}}$  – вертикальная координата правого ведомого переднего колеса;  $Z_{\text{П2}}$  – вертикальная координата правого ведущего заднего колеса;

На рисунке 1 даны следующие обозначения:  $L_B$  – расстояние от оси переднего ведомого моста до оси заднего ведущего моста;  $L$  – расстояние от оси переднего ведомого моста до оси вращения РО;  $L_{\text{Ш}}$  – ширина базы дорожной фрезы;  $L_{\text{РО}}$  – ширина фрезерного барабана;  $F_{\text{xc}}, F_{\text{zc}}$  – сила реакции разрабатываемой среды на РО;  $F_{\text{tk1}}, F_{\text{tk2}}, F_{\text{tk3}}, F_{\text{tk4}}$  – силы тяги ходового оборудования,  $V_{\text{П}}$  – поступательная скорость машины.

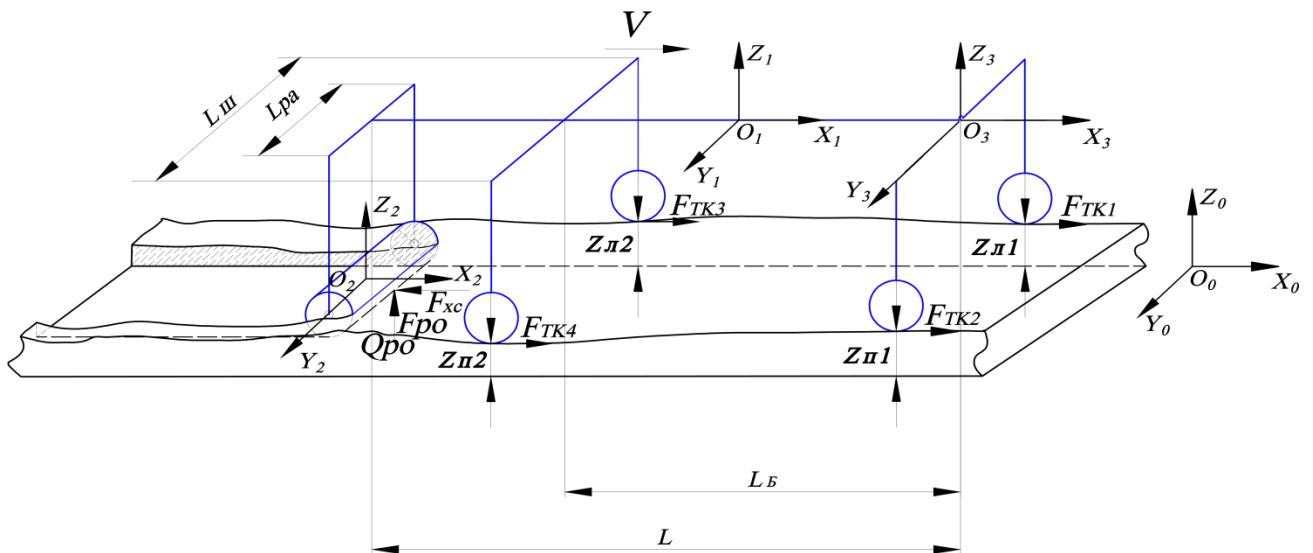


Рис. 1. Упрощенная пространственная расчетная схема дорожной фрезы

Для составления уравнения геометрических связей использовано понятие "коэффициента базы" [6,18]

$$K_B = \frac{L}{L_B}. \quad (1)$$

Из рисунка 1 можно записать следующее выражение для расчета вертикальной координаты  $Z_{\text{цп}}$ , при наезде передним колесом на неровность:

$$Z_{\text{цп}} = 0,5 (Z_{\text{Л1}} + Z_{\text{П1}}). \quad (2)$$

По аналогии с зависимостью 2, уравнение при наезде задним колесом на неровность

$$Z_{\text{цз}} = 0,5 \cdot (Z_{\text{Л2}} + Z_{\text{П2}}). \quad (3)$$

где  $Z_{\text{цз}}$  – центр заднего моста, м.

Вертикальная координата РО представлена зависимостью [7]

$$Z_{\text{РО}} = (1 - K_B) Z_{\text{цп}} + K_B Z_{\text{цз}}. \quad (4)$$

Так как рассматривается установленный рабочий процесс, то для расчета вертикальной координаты РО необходимо учесть требуемое ее значение  $Z_{\text{РО\_ZAD}}$ .

При разрушении дорожного полотна фрезой на каждый зуб действует переменная сила сопротивления разрушению. При этом в одинаковый момент времени каждый зуб срезает стружку разной толщины. При резании по ходу движения машины, в начале дуги контакта РО с дорожным полотном сила сопротивления, как и толщина срезаемой стружки – минимальна. В конце дуги контакта – максимальна, так как стружка имеет наибольшую толщину. При этом наблюдается скол части разрабатываемой среды от массива.

На толщину стружки влияют преимущественно два фактора: положение зуба на дуге контакта РО с дорожным полотном (определяется угловой координатой  $\alpha$ ) в определенный момент времени  $t$  и пройденный машиной путь за интервал времени от 0 до  $t$  (рис. 2).

На рисунке 2 представлено изменение положения зуба в разные моменты времени. В начальный момент времени (1) сила сопротивления разрушению и толщина снимаемой стружки будет минимальна, путь, пройденный машиной равен нулю. При дальнейшем продвижении машины в продольной плоскости будет увеличиваться толщина срезаемой стружки, причем, чем больше дуга контакта РО с дорожным полотном, тем больше будет ее максимальное возможное значение.

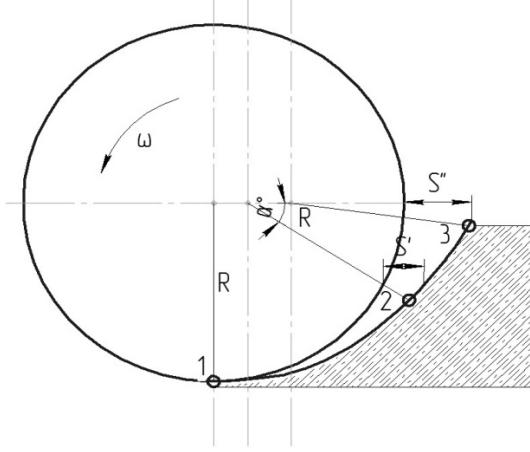


Рис.2. Изменение положения резца в процессе фрезерования

За определенный интервал времени зуб РО изменит свое положение с позиции 1 на 2 (рис. 2). За этот же интервал времени фреза пройдет в продольной плоскости путь  $S'$ . При изменении положения зуба с позиции 1 на 3 - фреза пройдет путь  $S''$ .

Так как расположение зубьев на барабане может быть разным, необходимо поверхность барабана разделить на  $m_\phi$  секторов с одинаковым расположением и количеством зубьев. Центральный угол между двумя соседними зубьями фрезы определяется зависимостью

$$\alpha^\circ = \frac{360^\circ}{z}, \quad (5)$$

где  $z$  - количество зубьев на одном секторе, шт.

Рассчитать число зубьев в продольном сечении барабана, находящихся в контакте с дорожным полотном, можно при помощи зависимости

$$m = \frac{\varphi^\circ}{\alpha^\circ} \quad (6)$$

где  $\varphi$  - угол контакта фрезы — центральный угол, соответствующий дуге соприкосновения окружности фрезы с разрабатываемой средой, измеряемый в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы, град.

Для этого необходимо рассмотреть процесс заглубления РО фрезы (рис. 3).

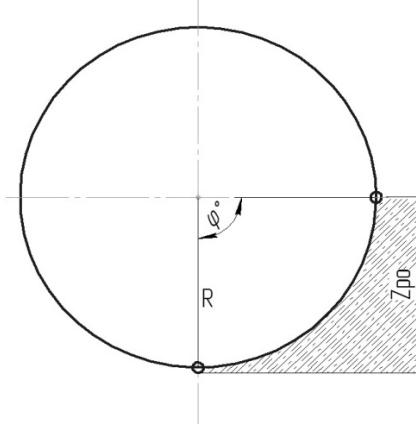


Рис. 3. Определение угла контакта фрезы с разрабатываемой средой

Для определения угла контакта фрезы воспользуемся общизвестным уравнением

$$\varphi^\circ = \arccos\left(1 - \frac{Z_{po}}{R}\right) \quad (7)$$

где  $R$  - радиус фрезерного барабана, м.

Для каждого зуба, находящегося в контакте с разрабатываемой средой можно определить время, за которое он достигнет координаты впереди идущего зуба.

$$t_i = \frac{\alpha_i}{2\pi n_\phi} \quad (8)$$

где  $\alpha_i$  - угловая координата  $i$ -го зуба, рад;  $n_\phi$  - частота вращения фрезерного барабана, об/с.

За это же время машина, а также и рассматриваемый зуб, пройдут путь в продольной плоскости (рис. 4)

$$S_i = V_{\Pi} \cdot t_i \quad (9)$$

где  $V_{\Pi}$  - поступательная скорость машины, м/с.

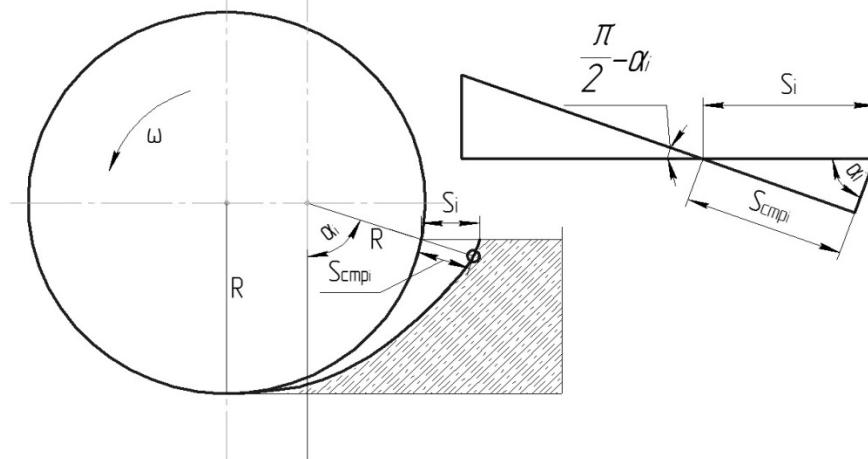


Рис. 4. Изменение толщины стружки от подачи на  $i$ -тый зуб

Решая (8) и (9) совместно, получаем зависимость, которая позволяет рассчитать путь, прошедший зубом в продольной плоскости:

$$S_i = V_{\Pi} \cdot \frac{\alpha_i}{2\pi n}. \quad (10)$$

Связь подачи на  $i$ -тый зуб и толщины срезаемой им стружки отражается зависимостью

$$S_{cstri} = S_i \cdot \sin \alpha_i, \quad (11)$$

где  $S_{cstri}$  - толщина стружки, срезаемой  $i$ -тым зубом, м.

Так как частота вращения фрезерного барабана, а, следовательно, и его окружная скорость, и поступательная скорость перемещения машины прямо пропорциональны, то величина стружки будет зависеть как от угловой координаты, которую в данный момент времени принимает  $i$ -тый зуб, так и от коэффициента пропорциональности распределения угловой скорости вала двигателя внутреннего сгорания между потребителями.

При расчете  $S_{cstri}$  необходимо учесть, что угловая координата последнего зуба, находящегося на дуге контакта (рис. 2, позиция 3), принимается равной  $\alpha_i = \varphi^{\circ}$ , так как зуб в этой точке формирует стружку наибольшей толщины. Это приводит к тому, что в конечной точке  $S_{cstri} \rightarrow S$ , или  $S_{cstri} = S$  при условии, что  $Z_{PO} = R$ .

Одним из важнейших показателей эффективности рабочего процесса дорожной фрезы является энергоемкость процесса разрушения разрабатываемой среды.

Тангенциальная составляющая силы резания (рис. 5) определяется зависимостью [8]

$$F_{ti} = \frac{N_i}{V_{pez}} = \frac{q \cdot d_{zuba} \cdot S_{cstri} \cdot Z_{PO} \cdot n_{\Phi}}{V_{pez}}, \quad (12)$$

где  $N_i$  - мощность кругового резания разрабатываемой среды одним зубом, Вт;  $F_{ti}$

- тангенциальная составляющая силы резания разрабатываемой среды  $i$ -тым зубом, Н;  $V_{pez}$  - скорость резания фрезерного барабана, м/с;  $q$  - удельное сопротивление резанию, Н/м<sup>2</sup>;  $d_{zuba}$  - диаметр основания зуба, м.

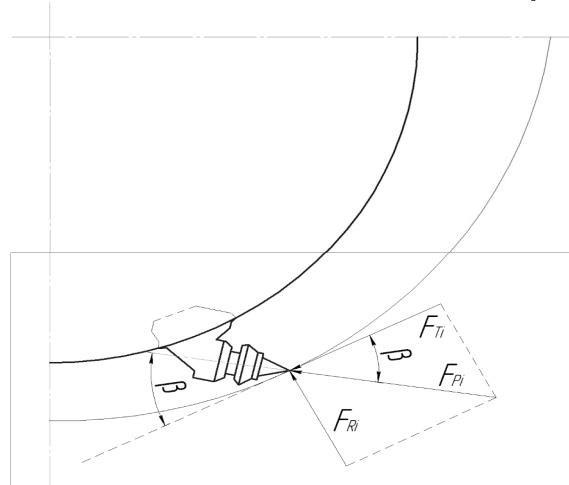


Рис. 5. Расчетная схема сил, действующих на зуб

В соответствии с зависимостями (10), (11) и (12) получаем уравнение силы сопротивления резанию разрабатываемой среды  $i$ -тым зубом

$$F_{Pi} = \frac{q \cdot d_{3yba} \cdot Z_{PO} \cdot V_p \cdot \frac{\alpha_i}{2\pi} \cdot \sin \alpha_i}{V_{pez}} \cdot \cos \beta, \quad (13)$$

где  $\beta$  - угол атаки зуба, рад.

Полная сила сопротивления резанию имеет вид

$$F_P = m_\phi \cdot \sum_1^m \left[ \frac{q \cdot d_{3yba} \cdot Z_{PO} \cdot V_p \cdot \frac{\alpha_i}{2\pi} \cdot \sin \alpha_i}{V_{pez}} \cdot \cos \beta \right] \quad (14)$$

Процесс взаимодействия рабочего органа (РО) ДФ с асфальтобетоном аналогичен работе резцов машины для разрушения полезных ископаемых. В этом случае модель процесса можно представить в виде двух фаз состояния элементарного цикла резания-дробления и скола [11,17,19].

При этом необходимо учитывать конструктивные и технологические особенности ДФ, параметры, а также характеристики материала асфальтобетона и резцов [12,20].

Конструкторское основные технологические параметры ДФ включают: скорость движения машины  $V_p$ ; скорость резания  $V_r$ ; число одновременно работающих резцов на барабане; количество резцов в линии резания  $m_1$ ; частота вращения барабана  $n_1$ ; суммарная мощность двигателя  $W$ ; мощность затрачиваемая на резание  $W_p$ ; мощность двигателя затрачиваемая на подачу  $W_n$ ; максимальная глубина резания  $h_{max}$ ; КПД режущей  $\eta_{p,ч}$  и подающей  $\eta_{n,ч}$  частей.

Математическая модель разрушения асфальтобетона и расчёта технологических параметров ДФ основана на том, что при резании на контактные поверхности резца действуют переменные силы, которые имеют максимум вблизи от режущей кромки и резко убывают при удалении от неё [13,14]. На расчётной схеме приведено действия сосредоточенных сил на резец наклонного положения, расположенного в системе XYZ, ориентированной относительно вектора  $V_p$  абсолютной скорости резания. На расчётной схеме приняты следующие обозначения:  $N_p$ ;  $N_3$ ;  $N_{6,1}$ ; и  $N_{6,2}$  - нормальная сила, действующая на переднюю, заднюю и боковые грани резца соответственно;  $N_{pf}$ ;  $N_{3f_3}$ ;  $N_{6,1}f_6$  и  $N_{6,2}f_6$  - силы трения в соответствующих плоскостях резания;  $f_n$ ;  $f_3$ ; и  $f_6$  - коэффициенты трения граней резца о массив;  $P_z$ ;  $P_y$  и  $P_x$  - горизонтальная, вертикальная и боковая составляющая усилия резания;  $\alpha$  - рабочий угол резания резца;  $\varphi$  - конструктивный угол простирания передней грани резца;  $\delta$  - установочный угол наклона резца;  $a_k$  - конструктивная ширина главной режущей кромки резца.

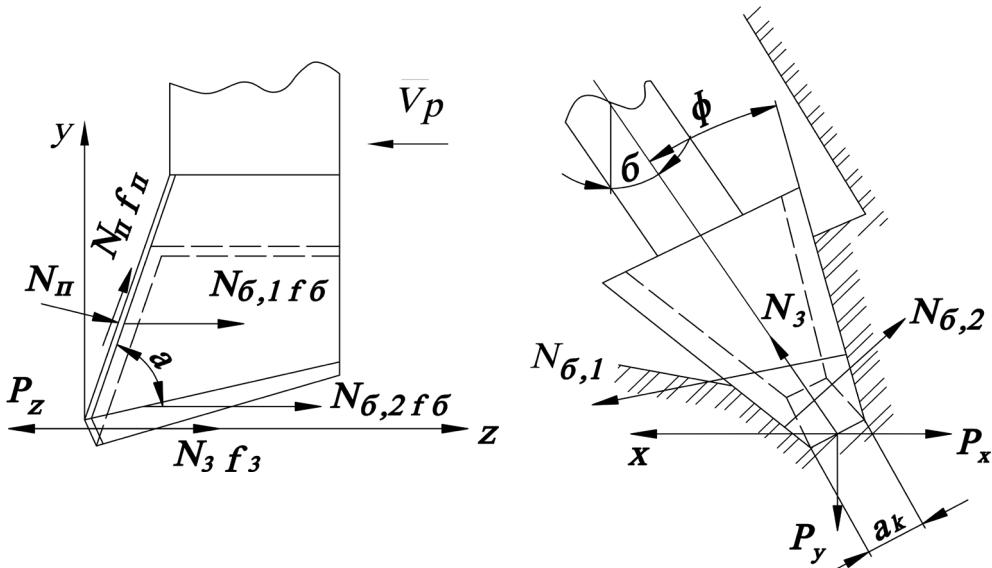


Рис.6. Расчётная для определения сил сопротивления асфальтобетоне Р.О. дорожной фрезы

Управление равновесия в принятой системе координат:

$$\left. \begin{aligned} P_z &= N_p (\sin \alpha + f_n \cos 2) + N_3 f_3 + f_6 (N_{6,1} + N_{6,2}) \\ P_y &= N_p (-\cos \alpha + f_n \sin \alpha) \cos \delta + N_3 \cos \delta - N_{6,1} \sin(\delta + \varphi) + N_{6,2} \cos(\delta + \varphi) \\ P_x &= N_p (-\cos \alpha + f_n \sin \alpha) \sin \delta + N_3 \sin \delta + N_{6,1} \cos(\delta + \varphi) - N_{6,2} \sin(\delta + \varphi) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

В работе [11] на основании результатов теоретических и экспериментальных исследований для определения нормальных сил были получены следующие выражения:

$$N_n = 100 \tau_{cr} (R_3 h^2 + R_4 h) \Pi_2 K_\phi \Pi_3, \quad (16)$$

$$N_{6,1} = N_{6,2} = \tau_{cr} h \Delta_6 A_{F,6}, \quad (17)$$

$$N_3 = \tau_{cr} a_\delta \Delta_3 A_{F,3}, \quad (18)$$

где  $\tau_{cr}$ -разрушающее напряжение в главной плоскости;

$h$ -глубина резания;

$$R_3 = (\sin 2\varphi + \sin(\alpha + \Omega))/(2R_2 \sin\alpha \sin \Omega \cos^2 \varphi);$$

$\Omega$ -угол скола элемента массива;

$$R_2 = \sin(\alpha + \Omega) + f_n \cos(\alpha + \Omega);$$

$$R_4 = \frac{\alpha_k}{(R_2 \sin \Omega)};$$

$\Pi_2$ -параметр соотношения средних и максимальных нормальных сил, действующих на переднюю грань резца;

$K_\Phi$ -коэффициент формы передней грани резца;

$\Pi_3$ -параметр, учитывающий взаимовлияние соседних резцов на РО;

$\Delta_6$  и  $\Delta_3$ -фаска износа по боковым и задним граням резца;

$A_{F,6}$  и  $A_{F,3}$ -параметры, учитывающие форм боковой и задней площадок износа резца;

Параметр  $\Pi_3$  вычисляется по электрической формуле:

$$\Pi_3 = \frac{t - a_k + 1,5}{10,3h(1 - \Pi_1) + 1,5} \quad (19)$$

где  $t$  - шаг резания (расстояние между резцами по ширине Р.О.).

$\Pi_1$ -параметр характеризующий хрупко-пластичные свойства асфальтобетона.

На основании выражений (16)-(18) для определения  $P_z$  и  $P_y$  (15), можно записать в следующем виде (в этих уравнениях принято  $f_n = f_3 = f_\delta$ ):

$$P_z = 100\tau_{cr}((R_3 h^2 + R_4 h)\Pi R_1 + (2h\Delta_\delta A_{F,\delta} - \alpha_k \Delta_3 A_{F,3})f_3)K_{осл} \quad (20)$$

$$P_y = 100\tau_{cr}((R_3 h^2 + R_y h)\Pi R_5 \cos\delta + h\Delta_\delta A_{F,\delta} R_6 + \alpha_k \Delta_3 A_{F,3} \cos\delta)K_{осл} \quad (21)$$

где  $\Pi = \Pi_2 \Pi_3$ ;  $R_1 = \sin\alpha + f_n \cos\alpha$ ;

$K_{осл}$ -коэффициент ослабления асфальтобетона перед Р.О.

Глубина резания  $h$  связана с технологическими параметрами ДФ через выражение:

$$h = h_{max}\theta \text{ и } h_{max} = \frac{100V_n}{m_1 n_1} \cos\delta \quad (22)$$

Где  $\theta = (1 - \cos\varphi_k/\varphi_k)$ -параметр, учитывающий характер изменения глубины резания, исходя из дуги контакта резцов  $\varphi_k$  с асфальтобетоном.

Усилие  $P_z$ , возникающее на отдельно взятом резце и действующее в направлении подачи резания, лежит в основе расчёта мощности двигателя  $W_p$ , расходуемой на резание:

$$W_p = \sum_{i=1}^2 W_{p,i} = 10^{-3} \frac{1}{\eta_{p,r}} \sum_{i=1}^2 (V_{p,i} Z_{p,i} P_{z,i}), \quad (23)$$

Скорость резания и число одновременно работающих резцов для  $i$ -го РОДФ определяется по формулам:

$$V_{p,i} = \frac{\pi D_i n_i}{60} \quad (24)$$

$$Z_{p,i} = 100 \frac{B_i}{t_i} m_1 \frac{\varphi_{k,i}}{2\pi} \quad (25)$$

где  $D_i$ -диаметр  $i$ -го Р.О.  $B_i$ -ширина захвата (конструктивная ширина)  $i$ -го Р.О.

Изложенное позволяет выявить значения силовых параметров, возникающих в рабочем процессе разработки асфальтобетона РО ДФ, описывающем цикл резания, в виде двух фаз –дробления и скола.

## Заключение

Представленные уравнения геометрических связей позволяют провести исследование взаимодействия звеньев дорожной фрезы между собой и рассчитать текущее значение вертикальной координаты фрезерного барабана. Полученная математическая модель реакции разрабатываемой среды на фрезерный барабан позволяет рассчитать силу сопротивления разрушению этой среды, учитывая при этом параметры фрезерного барабана и рабочего процесса дорожной фрезы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Краснолудский, А.В. Определение рациональных параметров эксцентричной дорожной фрезы: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, СГТУ, 2004. – 177 с. [ In Russian: Krasnoludsky, A.V. Definition of rational parameters of an eccentric road mill: dis. ... cand. tech. sciences. - Saratov, SSTU, 2004 .-- 177 p.]
2. Костелов М.В. Фрезерные технологии ремонта и усиления дорожных покрытий // Строительство и недвижимость, 2001. -№7 - С. 28-30.[In Russian: Kostelov, M.V. Milling technologies for repair and strengthening of road surfaces // Construction and Real Estate, 2001. -№7 - S. 28-30.]

3. Баловнев, В.И. Оценка инновационных предложений в дорожной и строительной технике / В.И. Баловнев. – М.: МАДИ (ГТУ), 2008. - 100 с.[In Russian: Balovnev, V.I. Evaluation of innovative proposals in road and construction equipment / V.I. Balovnev. - M.: MADI (GTU), 2008 .-- 100 p.]
4. Строительные машины и оборудование: Справочное пособие для производственников механизаторов, инженерно-технических работников строительных организаций, а также студентов строительных вузов, факультетов и техникумов / Белецкий Б. Ф., Булгакова И. Г. Изд. второе, переработ, и дополн. — Ростов н/Д: Феникс, 2005. — 608 с. — (Строительство) [In Russian: Construction machinery and equipment: A reference guide for manufacturers of machine operators, engineering and technical workers of construction organizations, as well as students of construction universities, faculties and technical schools / Beletsky B.F., Bulgakova I.G. second, overwork, and ext. - Rostov n / a: Phoenix, 2005 .-- 608 p. - (Construction)]
5. Бандаков Б.Ф. Дорожные фрезы. «Машиностроение», 1971, 136 с. [Bandakov, B.F. Road milling cutters. "Engineering", 1971, 136 S.]
6. Щербаков, В.С. Составление структурных схем землеройно-транспортных машин как объектов автоматизации: Учебное пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2001. – 47 с. [In Russian: Shcherbakov, V.S. (2001) Drawing up structural diagrams of earth moving vehicles as objects of automation: a Training manual. - Omsk: SibADI Publishing House]
7. Моделирование землеройнотранспортных машин в среде Matlab-Simulink: методические указания к выполнению лабораторных работ / сост.: В.С. Щербаков, А-й А. Руппель, И. В. Лазута, С. А.. Милюшенко. – Омск: СибАДИ, 2010. – 42 с. [Modeling of earthmoving vehicles in Matlab-Simulink environment: guidelines for laboratory work / comp.: V.S. Shcherbakov, A. A. Ruppel, I.V. Lazuta, S. A. .. Milyushenko. - Omsk: SibADI]
8. Справочник конструктора дорожных машин Под редакцией канд. техн. наук И. П.. Бородачева издательство «МАШИНОСТРОЕНИЕ» Москва 1965. – 725 с. [In Russian: (1965) Handbook of the designer of road cars Edited by Ph.D. tech. Sciences I.P. Borodacheva publishing house "MECHANICAL ENGINEERING" Moscow]
9. Демиденко А.И., Снигирев Д.С., Ваймер Е.Ю., Сушко А.Г. Лабораторные испытания конструкций ножей грунтовой фрезы. Транспортные и технологические машины. Вестник СибАДИ, выпуск 3 (17), 2010. - С. 5-8. [In Russian: Demidenko, A.I., Snigerev, D.S., Weimer, E.Yu., Sushko, A.G. (2010) Laboratory tests of designs of knives of a soil mill. Transport and technological machines. Vestnik SibADI]
10. Фомин К.В. Моделирование и расчет вероятностных характеристик момента сопротивления на рабочем органе дорожной фрезы. Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2019, №3. С. 407-417.[In Russian: Fomin, K.V. (2019) Modeling and calculating the probability characteristics of the moment of resistance on the working body of the road mill. Scientific and Technical Bulletin of the Bryansk State University]
11. В.И. Баловнев Оптимизация и выбор инновационных систем и процессов транспортно-технологических машин М. 2014. 390.[ In Russian: Balovnev, V.I. (2014) Optimization and selection of innovative systems and processes of transport and technological machines Moscow]
12. Вибрактивное разрушение горных народ проходческими комбайнами / В.А. Бреннер и др. Тула Тульский полиграфией 2000. 2003 с. [In Russian: (2000) Vibroactive destruction of mountain people by roadheaders / Brenner, V.A. et al. Tula Printing]
13. Шмакин И.Г., Седенков Н.Б. Математическая модель процесса разрушения народы резцом. На пороча третьего тысячелетия: Сб. научн. Трудов Тулм. ТулГУ, 1999. С.98-101. [In Russian: Shmakin, I.G., Sedenkov, N.B. (1999) Mathematical model of the destruction of peoples by the cutter. On the defamation of the third millennium: Sat. scientific Trud Tulm. TulSU,]
14. WIRTGEN. Cold milling manual. Technology and application. - Wirtgen GmbH, 2013. – 244 p.
15. Modelling nonlinear regenerative effects in metal cutting/ Stepan, G. // Philosophical transaction of the Royal Society of London. 2001. № 359. I. 1781. P. 739-757
16. Pai-Chi Chang, Fu-Shou Wang, Jia-Huei Hwang, Wei-Fang Chen. Research on the design and manufacturing of an outer cycloid slotting cutter /The International Journal of Advanced Manufacturing Technology/2005, Volume 27, Issue 34, pp 248-253.
17. Dragoslav Janosevic, Rosen Mitrev, Boban Andjelkovic, Plamen Petrov. Quantitative measures for assessment of the hydraulic excavator digging efficiency //Journal of Zhejiang University SCIENCE A/2012, Volume 13, Issue 12, pp 926-942
18. Available at:  
[https://web.archive.org/web/20110720112751/http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/07\\_construction/07-2\\_body.htm](https://web.archive.org/web/20110720112751/http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/07_construction/07-2_body.htm) глава 2.2.3.2 Milling
19. Available at: <https://www.wirtgen-group.com/searchfrontend/ru-uz/overview/>.

## ROLE OF ROAD MILLS IN THE TECHNOLOGY OF REPAIR OF A WASED ROAD CANVAS

**Tulkun Ishanovich ASKARXODJAYEV\***, DSc, Professor.

**Sharofiddin Asatullayevich PIRNAEV**, research seeker

Tashkent Institute of Design, Construction & Maintenance of Automotive Roads

Department "Repair and maintenance of road-building machinery and equipment "

20, A.Timur ave., 100060, Tashkent, Uzbekistan

Tel. 998 (71) 233-70-83,

\*E-mail: Sharofiddinpirnaev928@gmail.com\_Sharfiddin2306@mail.ru

**Abstract.** The paper discusses the optimization of the algorithm to increase the service life of the cutters of a road mill based on preliminary and restoration surfacing. The analysis of the wear rate of various parts of the cutter is carried out, a technique for assessing the possibility of applying restoration and hardening of parts is proposed. Technological schemes for hull surfacing are proposed, modes and materials for hardening and restoration of the cutter are selected.

**Key words:** road milling, working equipment, milling teeth, covers, drum.

## ЕЙИЛГАН ЙЎЛ ПОЙНИН ТАЪМИРЛАШ ТЕХНОЛОГИЯСИДА ЙЎЛ ФРЕЗАЛАРИНИНГ ЎРНИ

**Тулкун Ишанович АСКАРХОДЖАЕВ\***, т.ф.д., профессор,

**Шарофиддин Асатуллаевич ПИРНАЕВ**, мустакил изланувчи

Тошкент автомобиль йўлларни лойиҳалаш, куриш ва эксплуатация институти

«Йўл қурилиш машиналари ва жихозларини таъмирлаш ва эксплуатацияси» кафедраси

100060, Ўзбекистон, Тошкент, А.Тимур проспекти, 20 ўй

Tel.998 (71) 233-70-83,

\*E-mail: Sharofiddinpirnaev928@gmail.com\_Sharfiddin2306@mail.ru

**Аннотация.** Маколада дастлабки ва қайта тиклаш сиртига асосланган йўл фрезаси тишларини хизмат муддатини ошириш алгоритмини оптималлаштириш муҳокама қилинади. Барабанинг турли қисмларининг айланиш тезлиги тахлили ўтказилади, қисмларни тиклаш ва котиб қолишни кўллаш усулини баҳолаш усули таклиф этилади. Қопламаларни қоплаш учун технологик схемалар таклиф этилади, тишларни қотириш ва тиклаш учун режим ва материаллар танланган.

**Калит сўзлар:** йўл фрезаси, ишчи жихози, фреза тишлари, қопламалар, барабан.

## РОЛЬ ДОРОЖНЫХ ФРЕЗ В ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА ИЗНОШЕННОГО ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

**Тулкун Ишанович АСКАРХОДЖАЕВ\***, д.т.н., профессор,

**Шарофиддин Асатуллаевич ПИРНАЕВ**, соискатель

Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог

Кафедра «Ремонт и эксплуатация дорожно-строительной техники и оборудования»

100060, Ташкент, проспект А.Темура, дом-20

Tel. (71) 233-70-83,

\*E-mail: Sharofiddinpirnaev928@gmail.com\_Sharfiddin2306@mail.ru

**Аннотация:** В работе рассмотрены вопросы оптимизации алгоритма повышения срока службы резцов дорожной фрезы на основе предварительной и восстановительной наплавки. Проведен анализ интенсивности изнашивания различных частей резца, предложена методика оценки возможности применения восстановления и упрочнения деталей. Предложены технологические схемы наплавки корпуса, выбраны режимы и материалы для упрочнения и восстановления резца.

**Ключевые слова:** дорожное фрезерование, рабочая техника, фрезерные зубья, покрытий, барабан.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Автомобильная дорога в течении службы подвергается различного рода воздействиям транспорта и погодно-климатическим факторам. От характера воздействий зависит интенсивность изнашивания асфальтобетонного покрытия. В результате циклических нагрузений различной величины от автомобильного транспорта в дорожном полотне возникают дефекты, деформации и разрушения.

Установлено, что дорожные покрытия за год разрушаются на 3 % от общей площади исследуемого участка. В современных технологиях ремонта дорог регламентирован 15%-ый порог, превышение которого требует проведения ремонта 100% участка.

Скорость изнашивания уже отремонтированной дороги зависит от качества материала, правильности соблюдения регламента ремонтных работ технологии и применяемой техники. В России, как и во многих других странах, на большей части дорог (до 95-96%) уложен асфальтобетон. Поэтому вполне оправданно, что основное количество и наибольшее разнообразие ремонтных материалов, машин, технологий и новых разработок относятся именно к асфальтобетонным покрытиям.

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ФРЕЗЫ

Основным техническим агрегатом для ремонта асфальтобетонного дорожного покрытия является дорожная фреза (ДФ). Основная функция ДФ – вскрытие дорожного покрытия, т.е. резка ремонтного участка асфальтобетона, от эффективности, работы которой зависят энергозатраты на ремонт 1м<sup>2</sup> дороги [1].

Восстановление асфальтобетонного дорожного покрытия (АДП) осуществляется различными методами, средствами и материалами, в совокупности определяющими их качество, срок службы и стоимость.

При текущем ремонте покрытий, по мере надобности, выполняют, во-первых, ямочный ремонт (ликвидация ям, выбоин, сколов), во-вторых, заделку трещин и, в-третьих, поверхностную обработку или укладку тонких верхних слоев покрытия.

Выбор технологического метода ремонта АДП должен соответствовать следующим требованиям:

- Высокое качество заделки дефекта, соответствующее показателям плотности, прочности, ровности и шероховатости основной части покрытия.
- Продолжительный срок службы отремонтированного участка.
- Наличие или доступность требуемых материалов, машин и установок для выполнения ремонта по выбранному методу.
- Сложность или простота реализации намеченного метода ремонта в различных погодных условиях.
- Оперативность открытия движения транспорта по месту ремонта.
- Низкая стоимость или высокая экономичность ремонтных работ.

Пожалуй, самым доступным и наиболее распространенным ремонтом такого типа покрытий является метод заделки ям, выбоин и других дефектов горячей асфальтобетонной смесью соответствующего состава. Наблюдающееся порой низкое качество и малые сроки службы заделанных горячей смесью дефектных мест связаны, как показывает практика, прежде всего с плохой подготовкой таких мест к ремонту. Подготовка ремонтируемого места покрытия в любом случае включает в себя следующие операции:

- Очистка поверхности дороги от пыли, грязи и влаги.
- Разметка границ ремонта выбоин прямыми линиями вдоль и поперек оси дороги с захватом не разрушенного слоя покрытия на 3-5 см, при этом несколько близко расположенных выбоин объединяют одним контуром или картой.
- Резка, вырубка или холодное фрезерование материала ремонтируемого места покрытия по очерченному контуру на всю глубину выбоины, но не менее толщины слоя покрытия, при этом боковые стенки должны быть вертикальными.
- Очистка дна и стенок места ремонта от мелких кусков, крошки, пыли, грязи и влаги.
- Обработка дна и стенок тонким слоем жидкого (горячего) или разжиженного битума или битумосодержащей эмульсии.

Небольшие по площади выбоины (до 2-3 м) можно размечать с помощью довольно уже распространенных ручных нарезчиков швов, снабженных специальными тонкими (2-3 мм) алмазными дисками диаметром 300 - 400 мм.

При подготовке к ремонту узких и длинных выбоин площадью более 2-3 м или трещин с разрушенными краями целесообразно использовать малогабаритные и компактные самоходные прицепные или навесные холодные фрезы, срезающие дефектный материал покрытия шириной 200-500 мм на глубину 50-150 мм.

На значительных площадях разрушенного покрытия возможно применение более крупных холодных фрез с большей шириной срезаемого материала (500-1000 мм) и максимальной глубиной до 200-250 мм.

В западных странах широкое распространение получили именно фрезерные технологии ремонта. Первая технология горячего срезания "лишнего" слоя асфальтобетонного покрытия с вывозом срезанного материала с дороги и укладкой на его место нового слоя из свежей смеси вынужденно зародилась для городских улиц, площадей, мостов и путепроводов [2].

В последствии эту идею взяли за основу для разработки технологии ремонта и ликвидации традиционных дефектов на покрытии (наплывов, волн, сдвигов колеи, трещин, выкрашивания, выбоин). Появились роторные фрезы вместо рыхлителей, для нагрева асфальтобетона стали использовать не открытое пламя, а газовые нагреватели инфракрасного излучения, взрыхленный материал вместо удаления с дороги повторно использовали в покрытии, перераспределяя и выравнивая его по поверхности, отказавшись при этом от использования новой смеси.

Данная технология получила название терморегенерации, или термофрезерного восстановления утраченных в процессе эксплуатации свойств и качеств асфальтобетонного покрытия, в которой нагрев асфальтобетона разупрочняет. Ее экономическая привлекательность состояла в том, что имеющийся на дороге материал использовался повторно, не было необходимости вывозить с дороги срезанный старый и привозить на нее новый материал и качество восстановленного таким способом покрытия было достаточно высоким. Большой творческий вклад в разработку этой и других подобных технологий, а также в создание современных машин для их реализации внес немецкий инженер и талантливый изобретатель Рейнхарт Виртген, основатель и бессменный руководитель знаменитой фирмы Wirtgen, являющейся одним из мировых лидеров в этой области.

Американские разработчики перешли на фрезерование дефектных мест и площадей дорожного покрытия без нагрева, заменяя старый асфальтобетон на свежий, что привело начале эры холодных ДФ (ХДФ). К отличительным особенностям всех типоразмеров таких фрез можно отнести два технологических достоинства. Во-первых, поддержание или сохранение заданной глубины и поперечных и продольных уклонов фрезерования вне зависимости от неровности поверхности качения фрезы. Это главное их достоинство, обеспечиваемое электронной автоматикой нивелировки. Во-вторых, автоматическое поддержание на каждом типе материала покрытия (с учетом его прочности и твердости) максимально возможной скорости и, соответственно, производительности фрезерования, что актуально прежде всего для средних и крупных фрез, имеющих двигатели мощностью до 450-550 кВт, которую целесообразно использовать наиболее оптимально.

Рабочим инструментом ХДФ являются различного типа и размеров твердосплавные резцы, которые имеют быстросъемное крепление на фрезерном барабане и которые подбирают сообразно типу и прочности обрабатываемого материала.

Успешное широкое использование ХДФ и технологий полной замены срезаемого ими на различную глубину, в том числе и на всю толщину, старого асфальтобетона ремонтируемого покрытия слоями из нового асфальтобетона предопределило возврат к идеи "безотходной" и потому более дешевой технологии реконструкции и усиления самой дорожной одежды.

Суть новой технологии холодной регенерации дорожной одежды, получившей название "холодный ресайклинг", состоит в совместном разрыхлении мощными фрезами на глубину 20-30 см, а иногда и несколько больше, слоев покрытия и основания с одновременной их обработкой (укреплением) отдельными вяжущими, такими как горячий битум, вспененный битум, битумная эмульсия, цемент или комплексным их сочетанием, в их перемешивании и распределении ровным слоем с последующим заключительным уплотнением катками. В результате создается прочный с исправленным поперечным и продольным профилем слой основания или нижний слой покрытия, на котором в последующем устраивают замыкающий асфальтобетонный слой из плотной смеси или выполняют поверхностную обработку.

### **3. АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДОРОЖНОЙ ФРЕЗЫ**

Применение современных ДФ обладающих высокой производительностью, позволяет сократить число технологических операций ремонта АДФ, дают возможность обеспечить их комплексную механизацию и достичь высокого качества работ [3, 4, 5, 6, 7, 8].

Существующие фрезерные установки для проведения работ в дорожной отрасли, в основном подразделяются по следующим видам выполняемых работ [9, 10, 11, 12].

- Машины для стабилизации грунта.
- Машины для фрезерования асфальтобетонных и цементобетонных покрытий при ремонтно-восстановительных мероприятиях.
- Машины для нарезки щелей.

ДФ изготавляются во многих странах. ДФ можно классифицировать по различным признакам [13].

По способу передвижения дорожные фрезы подразделяются на самоходные, навесные, прицепные и полуприцепные.

Самоходные фрезы характеризуются тем, что у них рабочее оборудование смонтировано на пневмоколесном базовом шасси (базовом тягаче), изготовленном специально для них.

У навесных фрез рабочее оборудование устанавливается на серийных колесных или гусеничных тракторах, оборудованных ходоуменьшителями. В некоторых случаях в качестве базовых машин могут использоваться шасси автомобилей.

Прицепные дорожные фрезы отличаются тем, что работают в прицепе с серийными гусеничными тракторами, оснащенными ходоуменьшителями.

У полуприцепных фрез рама фрезерного рабочего органа одним концом опирается на седельное устройство колесных одноосных тягачей.

По типу ходовой части дорожные фрезы различаются на машины, имеющие пневмоколесную, гусеничную и смешанную ходовую часть.

Пневмоколесным ходом оснащаются самоходные и навесные фрезы, имеющие в качестве базовых машин специальные колесные шасси или колесные тракторы. Такой же ход могут иметь и полуприцепные фрезы на базе одноосных колесных тракторов.

Гусеничную ходовую часть имеют машины навесного исполнения на базе гусеничных тракторов.

Смешанная ходовая часть характерна для машин прицепного типа, когда прицепной агрегат оснащен пневмоколесами, а тяговый трактор - гусеничным ходом.

По характеру привода ротора различают дорожные фрезы с приводом ротора от вала отбора мощности базового трактора и приводом от самостоятельного двигателя.

Первый вид привода имеет место на фрезах самоходного, навесного и, в редких случаях, прицепного исполнения с общим двигателем на привод всех механизмов. Второй вид привода характерен для прицепных и полуприцепных агрегатов, чаще всего оснащаемых раздельными двигателями на привод ротора и ходовой части.

По характеру привода дозирующих систем дорожные фрезы также различаются на машины, имеющие привод от вала отбора мощности трактора и привод от самостоятельного двигателя.

По виду привода ротора и ходовой части дорожные фрезы различаются на машины с механическим,

гидрообъемным и смешанным приводом рабочего органа и ходовых колес.

Дорожные фрезы с механическим и гидрообъемным приводом характеризуются однородностью вида трансмиссии на привод ротора и ходовой части.

Машины, имеющие смешанный привод, могут оснащаться гидрообъемным приводом на рабочий орган и механическим - на привод ходовой части и наоборот.

По виду дозирующей - распределительных систем различают дорожные фрезы, оснащенные системами для дозирования и распределения жидких вяжущих и системами для дозирования и распределения порошкообразных вяжущих, и машины, имеющие оба вида систем.

По расположению ротора дорожные фрезы бывают с консольно расположенным рабочим органом, с расположением ротора в базе машины и с расположением по оси колес.

К рабочему органу фрезы относят ротор, кожух, раму ротора и гидросистему подъема рабочего органа. Ротор, расположенный перпендикулярно к продольной оси машины, представляет собой фрезерный барабан, состоящий в общем виде из вала и резцов.

По направлению резания грунта дорожные фрезы разделяются на обрабатывающие массив грунта сверху вниз и снизу-вверх (рис. 1).

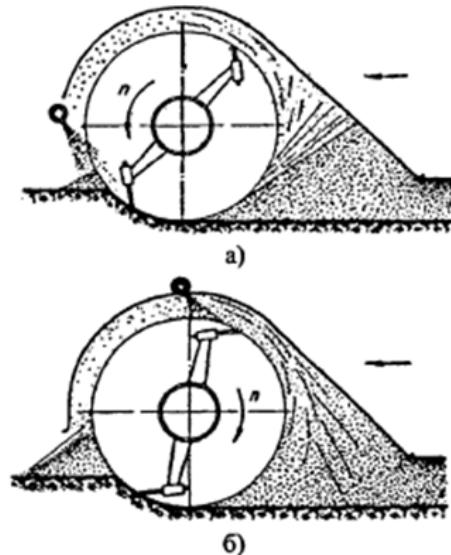


Рис.1. Схемы резания грунта: а - сверху - вниз; б - снизу - вверх

Применяются несколько типов фрезерных барабанов: стандартные, грубые, очные и сверхточные, которые отличаются конструкцией, схемой расположения, количеством режущих элементов и режимами работы [7, 8].

Рабочий орган (рис. 2) осуществляет фрезерование и перемещение материала в зону лопаток, которые забрасывают его на конвейер или в зону принудительного смешивания.

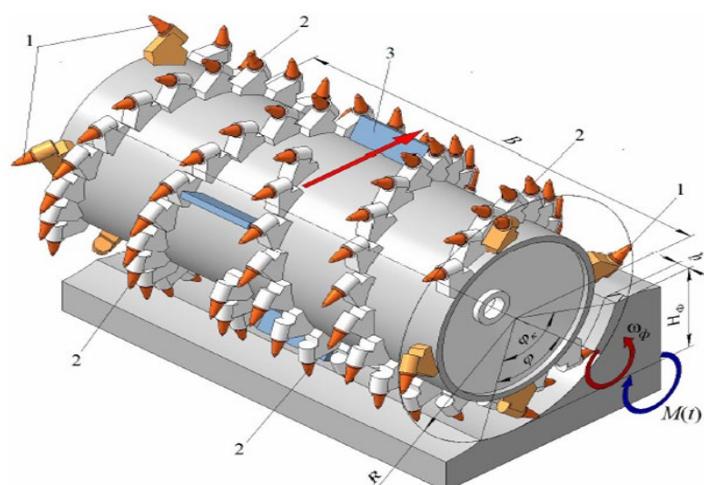


Рис.2. Схема рабочего органа ДФ: 1 - режущие элементы левой и правой торцевых зон фрезерования; 2 - режущие элементы зон фрезерования и транспортирования материала; 3 - забрасывающая лопатка [14]

В поперечном сечении ротора (в каждом ряду), может быть различное число резцов. Резцы на роторе могут, располагаться по винтовым линиям и в зависимости от их количества в каждом поперечном ряду

образуется соответствующее им количество винтовых линий. Резцы располагают с учетом необходимого обеспечения равномерной нагрузки на опоры. Обычно это достигается расположением лопастей по правой и левой винтовым линиям, сходящимся в осевой плоскости ротора.

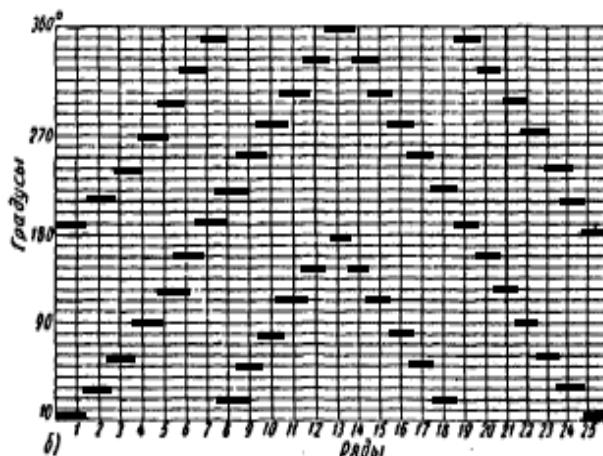


Рис.3. Расположение режущих элементов на фрезе с жесткими лопастями

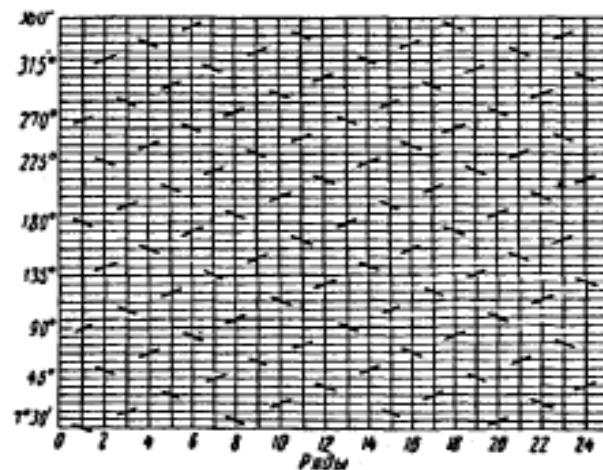


Рис.4. Расположение режущих элементов на роторе с пружинными лопастями

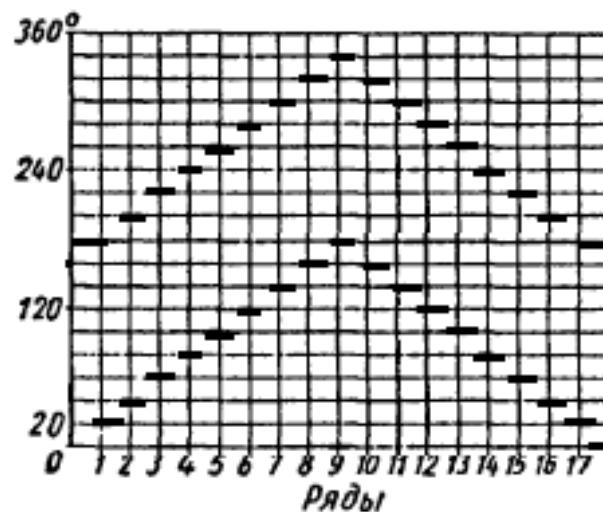


Рис.5. Расположение режущих элементов на роторе с шарнирно подвешенными лопастями

В ГОСТе 31556-2012 «Фрезы дорожные холодные самоходные. Общие технические условия» приведены типы и требования к самоходным дорожным фрезам.

Очень большая номенклатура выпускаемых фрез у известной немецкой фирмы "Wirtgen GmbH". В качестве примера можно рассмотреть фрезу W 1000 (рис.6).

В шасси между опорными колесами расположена фреза шириной 1000 мм. Глубина фрезерования составляет 180 мм. Габаритные размеры машины W 1000 - 4345x2400x2525 мм. Длина машины с конвейером достигает 10 615 мм, а высота - 4000 мм. На машине установлен турбо дизельный двигатель фирмы "Caterpillar" (США) типа 3116DI-TA мощностью 149 кВт при частоте вращения коленчатого вала 2300 мин<sup>-1</sup>. Привод хода

гидравлический. Передние колеса ведущие и управляемые, задние - опорные. Подвеска передних колес плавающая. Каждое из задних колес имеет индивидуальную подвеску и индивидуальную регулировку по высоте, выполняемую гидравлическим распределителем. Такая система обеспечивает возможность установки фрезы на различную глубину, а также в горизонтальном или наклонном положении.



Рис.6. Общий вид фрезерной машины нового поколения модели W 1000 фирмы "Wirtgen GmbH"

На фрезерном барабане диаметром 508 мм установлены 96 резцов с шагом 15 мм. Привод фрезы механический, фреза выполнена из четырех пар сегментов с быстросъемными резцами. Гидравлический привод хода позволяет иметь рабочие скорости в диапазоне 0-25 м/мин и транспортные скорости в диапазоне 0-6 км/ч. Рабочая масса машины составляет 16 400 кг. Модель 1000 является дорожной фрезой среднего размера. Ее используют для обработки как узких, так и магистральных участков дорожного покрытия. Машина способна выполнять фрезерование на закруглениях и стыках благодаря хорошей маневренности.

Дорожная фреза Roadtec RX 20 является наиболее маневренной одно метровой холодной фрезой в мире. Благодаря своей непревзойденной маневренности эта машина, имеющая двигатель мощностью 230 л.с., эффективно выполняет различные работы по срезанию грунта. Она имеет более низкий центр тяжести, чем все другие фрезы, что позволяет ей работать на крутых склонах, например, на гоночных треках с высокими откосами на поворотах. Кроме того, дорожная фреза RX 20 идеально подходит для использования при создании или ремонте подходов к мостам, мостового полотна, откосов бордюров, траншей и перекрестков. Дорожная фреза RX 50B - это холодная фреза с двигателем 600 л.с. с оптимальным соотношением мощности, производительности и экономичности (рис. 7). Агрегат может снимать дорожное покрытие с максимальной шириной 2489 мм и на максимальную глубину 305 мм. Специально разработанная система управления тремя гусеницами позволяет иметь рабочий радиус поворота 2,5 м, двигаться при работе с боковым смещением, снимать грунт как при движении вперед, так и назад. Двухступенчатый конвейер имеет ширину 864 мм и может быть повернут для выгрузки на 50 град, в любую сторону от осевой линии, тем самым облегчая работу в городе.



Рис.7. Общий вид фрезы Roadtec RX 50B

В России лишь два предприятия: АО "Брянский Арсенал" и АО "Дмитровский экскаваторный завод" - производят отечественные холодные фрезы. Они значительно дешевле зарубежных аналогов.

Фреза ФДН - 500 (рис. 8) предназначена для холодного фрезерования асфальтовых покрытий при их ремонте. Рабочим органом фрезы является фрезерный барабан, на котором крепятся съемные резцы, изготовленные из высоко стойкой стали.



Рис.8. Общий вид фрезы ФДН - 500

Фрезерует в асфальте прямолинейные и криволинейные полосы шириной 500 мм, глубиной до 100 мм. Базовый тягач - МТЗ-80, МТЗ-82. Привод фрезерного барабана - механический от вала отбора мощности трактора; ширина обрабатываемой полосы 500 мм при глубине обработки 0,1 м. Охлаждение резцов осуществляется водой. Привод рабочего хода гидромеханический с бесступенчатым регулированием от 0 до 800 м/час. Мощность двигателя 57,4 кВт.

Фреза ДС-197 (рис. 9) предназначена для послойного снятия асфальтобетонных покрытий с автодорог, улиц, площадей при их ремонте, реконструкции. Установка на рабочий орган дополнительной фрезы позволяет вырезать канавки для укладки бордюрного камня.



Рис.9. Общий вид фрезы ДС - 197

В силовую установку входит дизельный двигатель Д-260.1, установка насосов, система охлаждения, топливный и гидравлический баки. Полезная мощность двигателя при 2100 об/мин - 114 кВт (155 л.с.); полезная мощность на маховике при 2100 об/мин - 110 кВт (150 л.с.); удельный расход топлива - 221 г/кВт.

Рабочим органом является барабан, оснащенный резцами диаметром 550 мм. Ширина фрезерования изменяется ступенчато от 250 до 1000 мм. Максимальная глубина фрезерования достигает 80 мм при поперечном уклоне барабана 6 градусов. Скорость движения машины рабочая - 0...10,0 м/мин; транспортная – 0-3,9 км/ч; конвейер с максимальной высотой разгрузки - 2790 мм и углом поворота в плане 20 градусов.

#### 4. ХАРАКТЕР ИЗНАШИВАНИЯ РЕЗЦОВ ДОРОЖНЫХ ФРЕЗ

Резцы, используемые в дорожных фрезах, имеют различную конструкцию [1,6,7,14,15]. Преимущественно применимые резцы на современных АДФ резцы сборные состоят из твердосплавного наконечника и корпуса (рис.1.10).

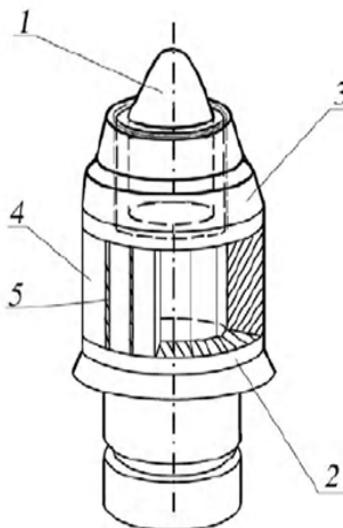


Рис.10. Схема сборного резца: 1 - твердосплавный наконечник; 2 - корпус резца; 3 - прижимная верхняя часть резца; 4 - образцы; 5 - медная прокладка

В качестве примера можно привести резец для ДФ компании Wirtgen. На рисунке 11 резец для малых фрез по асфальтобетону с шириной фрезерования до 50 см. Резец оснащен твердосплавным наконечником для снижает сопротивление внедрению резца в материал и способствует плавности работы машины. На резце есть специальная канавка для снятия резца съемником.

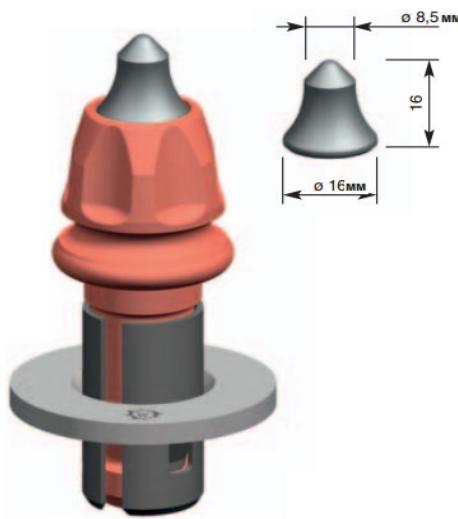


Рис.11. Универсальный резец для малых фрез Wirtgen

Твердый сплав, из которого изготавливаются наконечники резцов, состоит из карбида вольфрама и кобальта. В то время как первый обеспечивает твердость и износостойкость, относительно мягкий кобальт связывает зерна карбида вольфрама, обеспечивая высочайшую прочность даже при самых высоких ударных нагрузках.

Однако от твердого сплава требуется не только прочность. Чтобы противостоять экстремальным тепловым нагрузкам, развивающимся при фрезеровании, наконечники наших резцов изготавливаются из особо крупнозернистого карбида вольфрама. Он обладает более высокой теплопередачей по сравнению с обычными твердыми сплавами, благодаря чему его износ значительно меньше.

Наконечник резца прочно впаян в стальной корпус, закрепляемый в резцодержателе на фрезерном барабане. Чтобы это соединение надежно сохранялось даже при самых экстремальных нагрузках, мы используем пайку по собственной технологии, обеспечивающей чрезвычайно высокую прочность. Этот очень важный параметр качества постоянно контролируется в ходе всего технологического процесса.

Головка резца должна выдерживать громадные срезающие и ударные нагрузки. Одновременно, в течение всего срока службы резец должен прочно сидеть в резцодержателе, не подвергаясь при этом разрушению.

Износ резцодержателя решающим образом зависит от конструкции резца. Поэтому на резцах Wirtgen предусмотрена изнашиваемая шайба, которая по геометрии точно соответствует резцодержателю и полностью закрывает его верхнюю часть. Она и принимает на себя основную часть нагрузки на держатель.

Промышленные испытания [16,20] износостойкости резцов позволили установить, что срок службы инструмента при ширине 500 мм и глубине 100 мм фрезерования составляет около 5700-6000 м<sup>2</sup> явно недостаточен и приводит к необходимости частой (от 2-х до 3-х недель) замены изношенных деталей.

Чем больше изношен резец, тем больше эффективный диаметр его твердосплавного наконечника, соответственно меньше его способность к заглублению в асфальтобетон (см.рис.12 и 13). В итоге, снижается объем сферезированного материала и в целом производительность ДФ.

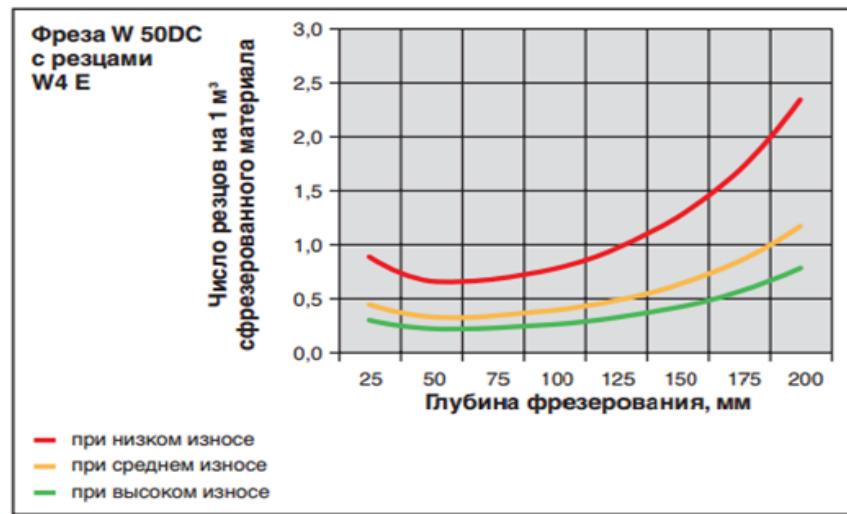


Рис.12. Зависимость объема сферезированного материала величины износа резцов ДФ

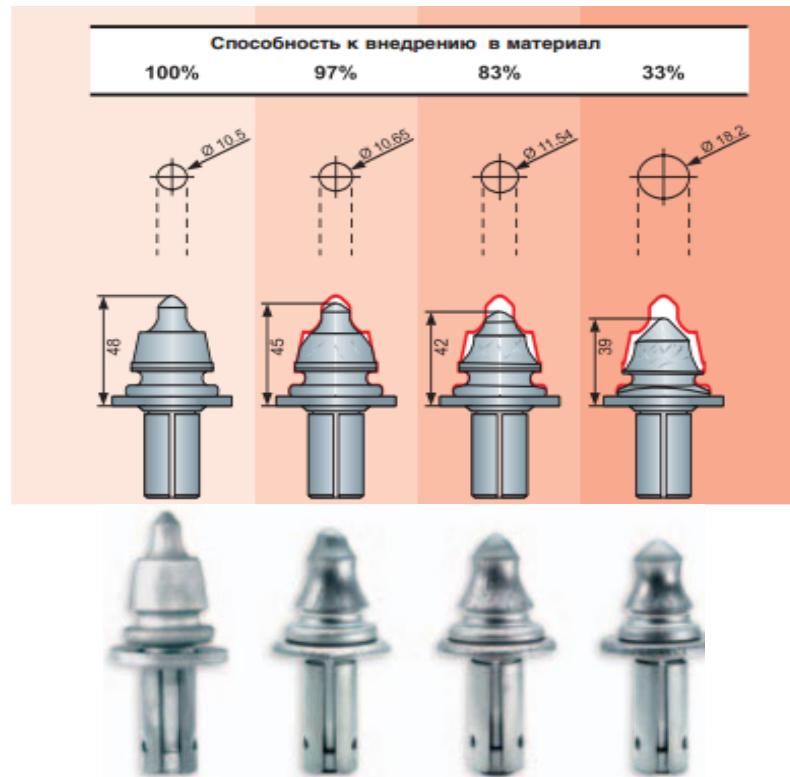


Рис.13. Износ резца при средней глубине фрезерования асфальтобетона

Глубина фрезерования и скорость машины при этом, наряду со свойствами фрезеруемого материала, оказывают важнейшее влияние на производительность. Так же существенным фактором является то, что при различных глубинах фрезерования профиль резания стружки сильно изменяются, это оказывает прямое влияние на производительность и на износ резцов и резцодержателей. Наибольшей производительности при наименьшем износе резцов большие фрезы Wirtgen достигают при глубине фрезерования от 100 до 150 мм (рис.14).

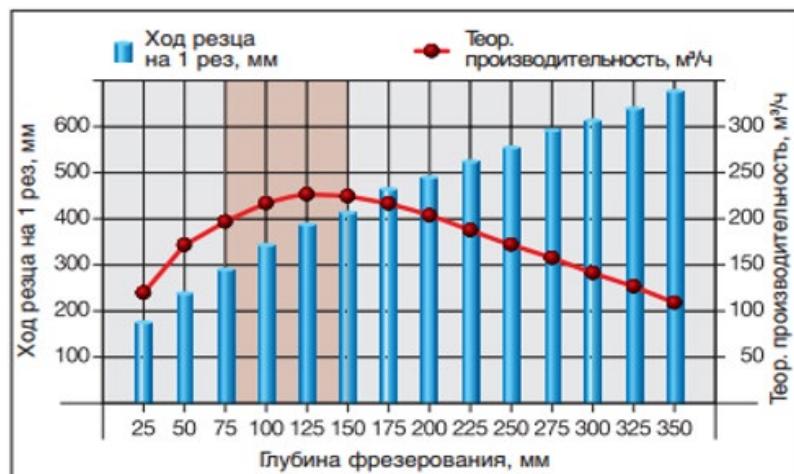


Рис.14. Зависимость производительности ДФ от глубины и хода резца

Статистическая обработка 1470 изношенных резцов на барабанах фрез Wirtgen W500 (72 шт. x 10 компл.) и Wirtgen DC2000 (150 шт. x 5 компл.) позволила выявить, что около 63% из них подвергается равномерному изнашиванию, при котором корпус резца разрушается по мере износа наконечника [17, 18, 19].

При этом количество установленных резцов на одной машине (72 или 150 шт.) не влияет на средний результат характера изнашивания. Своевременное восстановительное упрочнение (если наконечник изношен не более чем на 20 % -  $\Delta L_{нак} \leq 2,5$  мм) или предварительная наплавка до начала их эксплуатации позволит обеспечить баланс сроков службы рабочей кромки и корпуса резца. Около 19% рабочих органов изнашиваются в большей степени в районе корпуса, что вызывает утонение резцов и приводит к выпадению наконечника. Следует также отметить, что утонение резца в ряде случаев вызывает его деформационное коробление.

При этом угол отклонения от продольной оси резца может достигать до 10°. Попадание абразивных частиц между резцодержателем и резцом обуславливает невозможность его вращения, что вызывает неравномерный износ корпуса в одной плоскости и откалыванию наконечника. Такому характеру разрушения подвергается не более чем 13% исследуемых деталей.

Так же рассматривалась зависимость износа резцов от места установки на барабане. При испытания опыта резцов проводили на барабанах дорожных фрез Wirtgen W500 после выработки 5700 кв.м., асфальтобетона, при глубине фрезерования 100 мм, ширине - 500 мм, температура окружающей среды 12-25°C, и 2000DC после выработки 3500 кв.м. асфальтобетона, при глубине фрезерования 50 мм, ширине - 2000 мм, температура окружающей среды 19-30°C.

Барабан условно разделяли на 5 секторов (рис.15): крайний левый (I), крайний правый (V), центральный (III), средний левый (II) и средний правый (IV). Для барабана фрезы W500 II и IV секторы отсутствовали. При этом специальными испытаниями было установлено (табл.1), что место расположения исследуемых резцов влияет на величину и характер их износа.

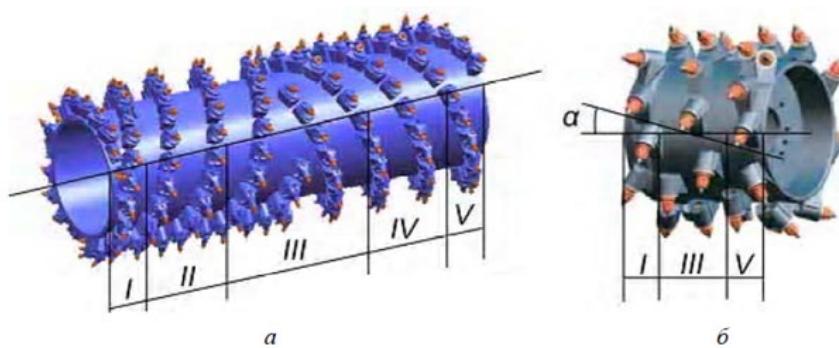


Рис.15. Схема размещения исследуемых секторов, а также опытных резцов на барабанах фрезы 2000DC (а) и W500 (б)

Таблица 1

Влияние места расположения резцов на интенсивность их изнашивания

Место расположения резца (сектор)		Массовый износ резца, г		Средний износ в секторе		Коэффициент влияния места расположения резца, %	
200	W	2000	W500	200	W5	2000D	W500
I	I	48.13	75.21	40.3 83	62.8 78	57.3	49.2
I	I	39.00	59.20				
I	I	33.40	62.10				

Продолжение таблицы 1

I	I	41.00	55.00					
II	-	23.11	-	18.2 03	-	5.2	-	-
II	-	16.30	-					
II	-	14.80	-					
II	-	18.60	-					
III	III	16.47	33.60	17.2 50	31.9 4	-	-	-
III	III	20.65	30.00					
III	III	17.36	39.05					
III	III	14.50	25.11					
IV	-	16.10	-	16.7 73	-	-2.8	-	-
IV	-	11.46	-					
IV	-	19.00	-					
IV	-	20.53	-					
V	V	31.40	48.11	23.1 30	39.5 33	25.4	19.2	-
V	V	22.17	35.02					
V	V	19.25	35.60					
V	V	19.70	39.40					

## 5. ВЫВОДЫ

- На основании сравнительного анализа методик лабораторных и промышленных испытаний, установлено, что наиболее достоверные данные по износстойкости резцов дорожных фрез возможно получить на основании испытаний в промышленных условиях эксплуатации. Учитывая сложность прогнозирования вклада каждого из механизмов разрушения материала (абразивного изнашивания и ударного воздействия), а также наличия большого числа факторов, влияющих на процесс изнашивания резца, разработана методика промышленных испытаний материалов корпуса резца.
- Выполнен анализ всех этапов промышленных испытаний, определены поправочные коэффициенты, учитывающие отклонения в геометрии резца, место установки резца на барабане, а также постоянство процесса фрезерования.
- Разработаны nomограммы износа резцов для различных характеристик изнашивающей среды и параметров эксплуатации, позволяющие выполнять проверку на величину отклонения результата испытания, связанное с ростом износстойкости материала и погрешностями проведения испытания.
- Исходя из анализа факторов, влияющих на точность промышленных испытаний резцов, следует, что основные отклонения вызваны в основном погрешностями, возникающими в процессе работы фрезы (до 50 %), а также обусловлены неправильной их установкой (до 15 %) либо отклонением в геометрии (до 7,3 %).

## 6. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Краснолудкий А.В. Определение рациональных параметров эксцентричной дорожной фрезы: Дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, СГУ,2004. – 177 с. [In Russian: Krasnoludky, A.V. (2004) Determination of the rational parameters of an eccentric road mill: Dis. ... cand. tech. sciences. - Saratov, SSU]
- Костелов М.В. Фрезерные технологии ремонта и усиления дорожных покрытий //Строительство и недвижимость, 2001. -№7 - С. 28-30.[ In Russian: Kostelov, M.V.( 2001) Milling technologies for repair and reinforcement of road surfaces // Construction and Real Estate]
- Баловнев, В.И. Дорожно-строительные машины и комплексы / В. И. Баловнев, А.Б. Ермилов, А.Н. Новиков и др.; под общ. ред. В.И. Баловнева. – М.: Машиностроение, 1988. – 384 с.[ In Russian: Balovnev, V.I. (1988) Road-building machines and complexes / V. I. Balovnev, A.B. Ermilov, A.N. Novikov et al .; under the general. ed. IN AND. Balovneva. - M.: Mechanical Engineering]
- Баловнев, В.И. Машины для содержания и ремонта городских и автомобильных дорог / В.И. Баловнев, М.А. Беляев; под общ. ред. В.И. Баловнева. – Москва-Омск: ОАО «Омский дом печати», 2005. – 768 с.[ In Russian: Balovnev, V.I. (2005) Machines for maintenance and repair of urban and motor roads / Balovnev, V.I., Belyaev; M.A./ Ed/ by Balovnev V.I. Moscow-Omsk: OJSC Omsk Printing House]
- Баловнев, В.И. Оценка инновационных предложений в дорожной и строительной технике / В.И. Баловнев. – М.: МАДИ (ГТУ), 2008. - 100 с.[ In Russian: Balovnev, V.I. (2008) Evaluation of innovative proposals in road and construction equipment / Balovnev, V.I. Moscow: MADI (GTU)]
- WIRTGEN. Cold Recycling Technology,1st edition. - Wirtgen GmbH, 2012. – 370 p.
- WIRTGEN. Cold milling manual. Technology and application. - Wirtgen GmbH, 2013. – 244 p.
- Селиверстов, Н.Д. Влияние режимов работы дорожных фрез и износа режущих элементов на профиль формируемой поверхности// Интерстроймех-2014: Материалы Междунар. научно-техн. конф., 2014. – С. 77-81. [In Russian: Seliverstov, N.D. (2014) Influence of operating modes of road mills and wear of cutting

- elements on the profile of the formed surface / Ed. By Seliverstov, N.D. // Interstroymekh-2014: Materials of the Intern. scientific and technical Conf.]
9. Попов Д.А., Рошупкин Д.В. Гидромеханизация земляных работ в зимнее время. Л., 1979.286 с.;[In Russian: Popov, D.A., Roshchupkin, D.V. (1979) Hydromechanization of earthwork in the winter. Leningrad]
  10. Беляков Ю. И. и др. Земляные работы. М.: Стройиздат, 1983. С. 82-109.[ In Russian: Belyakov, Yu. I. et al. (1983) Earthworks. Moscow: Stroyizdat]
  11. Ветров Ю. А., Баладинский В. Л. Машины для специальных земляных работ. Киев: Вища школа, 1980. С. 1 - 17, 68 - 82.; [In Russian: Vetrov, Yu. A., Baladinsky, V. L. (1980) Machines for special earthworks. Kiev: Vishcha school]
  12. Костелов М.В. Фрезерные технологии ремонта и усиления дорожных покрытий // Строительство и недвижимость, 2001. -№7 - С. 28-30. [In Russian: Kostelov, M.V. (2001) Milling technologies for repair and strengthening of road surfaces // Construction and Real Estate]
  13. Бандаков Б.Ф. Дорожные фрезы. «Машиностроение», 1971, 136 с. [In Russian: Bandakov, B.F. (1971) Road milling cutters. "Engineering"]
  14. Фомин К.В. Моделирование и расчет вероятностных характеристик момента сопротивления на рабочем органе дорожной фрезы. Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2019, №3. С. 407-417. [In Russian: Fomin, K.V. (2019) Modeling and calculating the probability characteristics of the moment of resistance on the working body of the road mill. Scientific and Technical Bulletin of the Bryansk State University]
  15. Демиденко А.И., Снигерев Д.С., Ваймер Е.Ю., Сушко А.Г. Лабораторные испытания конструкций ножей грунтовой фрезы. Транспортные и технологические машины. Вестник СибАДИ, выпуск 3 (17), 2010. - С. 5-8.[In Russian: Demidenko, A.I., Snigerev, D.S., Weimer, E.Yu., Sushko, A.G. (2010) Laboratory tests of designs of knives of a soil mill. Transport and technological machines. Vestnik SibIAR]
  16. Лукаш В.А., Вировець Л.М., Мельничук О.В. Аналіз відпрацювання та шляхи підвищення працездатності дорожніх різців// В сб. тезисовVI конф. "Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях". – С. 320-322. [In Ukrainian: Lukash, V.A., Virovets, L.M., Melnichuk, O.V.(2018) Analiz vidpratsyuvannya that hats pidvishchenny prazdatelnosti roadni riztsiv // In sb. Abstract VI Conf. "The effectiveness of the implementation of scientific, resource and industrial potential in modern conditions."]
  17. Попов С.Н., Антонюк Д.А. Анализ характера износа и определение критериев работоспособности рабочих органов дорожных фрез//Проблеми трибології.–2007.-№1.–С. 3-12.[In Ukrainian: Popov, S.N., Antonyuk, D.A. (2007) Analysis of the nature of wear and determination of the working capacity criteria of the working bodies of road milling machines / *Problems of tribolog*]
  18. Попов С.Н., Антонюк Д.А. Влияние трибоматериаловедческих параметров разрушения резцов дорожной фрезы в условиях изнашивания закрепленным абразивом// Нові матеріали та технології в металургії та машинобудуванні. – 2006. – №2. –С. 77-84. [In Ukrainian: Popov, S.N., Antonyuk, D.A. (2006) The influence of tribological material parameters of the destruction of cutters of a road mill under wear with a fixed abrasive // *New materials and technology in metallurgy and machine-building*]
  19. Available at:  
[https://web.archive.org/web/20110720112751/http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/07\\_constructio n/07-2\\_body.htm](https://web.archive.org/web/20110720112751/http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/07_constructio n/07-2_body.htm) глава 2.2.3.2 Milling
  20. Available at: <https://www.wirtgen-group.com/searchfrontend/ru-uz/overview/>