

**Министерство образования и науки  
Республики Таджикистан**

**Таджикский технический университет**

**имени академика М. С. Осими**

 На правах рукописи

**Бердиев Алишер Лугмонович**

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ  
ВОДИТЕЛЬ-АВТОМОБИЛЬ-ДОРОГА-СРЕДА НА РЕСУРС  
ШИН АВТОСАМОСВАЛОВ В ГОРНЫХ КАРЬЕРАХ**

05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

**Научный руководитель:** к. т. н., доцент

Умирзоков Ахмад Маллабоевич

Душанбе – 2023

## СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

Автосамосвал – автомобиль-самосвал;

БелАЗ – Белорусский автомобильный завод;

ВАДС – водитель, автомобиль, дорога, среда;

ГТС – гидротехническое сооружение;

ГЭЯ – гидроэлектрическая станция;

ДВС – двигатель внутреннего сгорания;

ИТР – инженерно-технические работники;

КПД – коэффициент полезного действия;

МАДИ (ГТУ)– Московский автодорожный институт (Государственный технический университет);

МФЭ – многофакторный эксперимент;

НИИАТ – Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта;

НИИШП – Научно-исследовательский институт шинного производства;

Н.У.М. – над уровнем моря;

ДАО – дочернее акционерное общество;

ОДК – обобщенный динамический коэффициент;

ОПК – обобщённый показатель качества;

ОАО – открытое акционерное общество;

ПЭВМ – персональный электронно-вычислительная машина;

ТУ – технические условия;

ЯМЗ – Ярославской моторный завод;

DFM – Dongfeng Motors;

IDEF – Integrated definition;

IRI – международный показатель ровности (International Roughness Index);

IRHD – international rubber hardness degree (международные градусы твёрдости резины);

SADT – Structured Analysis & Design Technique.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1.1 Обзор и анализ исследований оценки влияния элементов системы ВАДС на ресурс автомобильных шин в горных условиях .....	14
1.2 Классификация системы ВАДС.....	19
1.3 Анализ автомобильного парка в Республике Таджикистан .....	22
1.4 Влияние скорости движения и дорожных условий на износ шин.....	26
1.5 Влияние радиальной нагрузки на ресурс шин .....	27
1.5.1 Оценка влияния неровности дорожного покрытия на ресурс шин.....	34
1.5.2 Влияние абразивности дороги на ресурс пневматической шины.....	37
1.5.3 Влияние вида и частоты маневров на реализацию ресурса шины автосамосвала в условиях горных карьеров.....	44
1.6 Анализ влияния мастерства водителя на ресурс шины.....	46
1.7 Анализ влияния окружающей среды на ресурс автомобильной шины.....	48
1.8 Цель и задачи исследования.....	50
1.9 Основные выводы по разделу .....	50
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ВАДС НА РЕСУРС АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН .....	52
2.1 Методы и подходы к нормированию ресурса шин большегрузных автомобилей самосвалов .....	52
2.2 Моделирование оценки реализации ресурса шин автосамосвалов в условиях горных карьеров .....	54
2.2.1 Структурная модель оценки и управления ресурсом шин автомобилей – самосвалов в условиях горных карьеров .....	54
2.3 Оценка и управление ресурсам шин автосамосвалов по механическим повреждениям в горных карьерных условиях .....	67
2.4. Оценка ресурса шины автосамосвала по физическому износу протектора в условия горных карьеров.....	69
2.5 Моделирование влияния радиальной нагрузки на реализацию ресурса шины	71
2.8 Моделирование комплексной оценки влияния элементов системы ВАДС на износ и повреждения автомобильной шины .....	80
2.9 Основные выводы по разделу .....	84
3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	86
3.1 Цели и задачи экспериментального исследования .....	86

3.2 Методика экспериментальных исследований влияния элементов системы ВАДС на реализацию ресурса пневматической шины.....	89
3.2.1 Методика измерения износа рисунка протектора пневматических шин.....	89
3.2.2 Методика измерения температуры поверхности пневматических шин.....	90
3.2.3 Методика экспериментальных исследований влияния радиальной нагрузки на реализацию ресурса шин автосамосвалов .....	92
3.3 Оценка погрешностей измерений.....	94
3.5 Основные выводы по разделу .....	95
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	97
4.1 Результаты лабораторных исследований.....	97
4.1.1 Результаты рентгеноструктурного анализа свойств протекторной резины ..	97
4.2 Результаты лабораторных испытаний свойств абразивных обломков горных пород.....	100
4.3 Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований по оценке ресурса шин автосамосвалов в горных карьерных условиях при строительстве ГТС .....	106
4.4 Результаты хронометражных и статистических исследований .....	110
4.5 Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований удельной интенсивности износа пневматической шины .....	113
4.6 Оценка экономической эффективности от повышения .....	116
4.7 Основные выводы по разделу .....	120
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ .....	121
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	123
Список литературы .....	128
ПРИЛОЖЕНИЯ А .....	147
ПРИЛОЖЕНИЯ Б.....	153
ПРИЛОЖЕНИЯ В .....	154
ПРИЛОЖЕНИЯ Д.....	155

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Важную роль при разработке полезных ископаемых и строительстве гидротехнических сооружений (ГТС) в горных карьерных условиях Республики Таджикистан играет автомобильный транспорт, который являясь составной частью транспортной системы, занимает ведущее место в развитии энергетической отрасли страны. На его долю в транспортной системе республики приходится свыше 90% от общего объёма грузоперевозок.

Обеспечение эффективности грузоперевозок в горных карьерных условиях требует оценки влияния отдельных элементов системы водитель-дорога-автомобиль-среда (ВАДС) и их сочетаний на эксплуатационные показатели автомобиля, в том числе на интенсивность изнашивания рисунка протектора и частоту механического повреждения шины.

Актуальность темы исследования связана с тем, что существенное значение для снижения себестоимости грузоперевозок в горных карьерных условиях отводится вопросу повышения эффективности использования материальных ресурсов, наиболее важными из которых являются топливо-смазочные и ремонтные материалы, запасные части и пневматические шины. В условиях равнин затрат на эксплуатацию и ремонт пневматических шин автосамосвалов превышает 25% от затрат на техническое обслуживание (ТО) и ремонт (Р) автомобиля, а в горных карьерах условиях при строительстве ГТС этот показатель доходит до 35-40%, что обусловлено повышенной интенсивностью износа протектора и механических повреждений.

Вопросам, связанным с изучением интенсивности изнашивания протектора шины и формированию их ресурса, обращают большое внимание на заводах - производителях пневматических шин и в отраслевых научно-исследовательских институтах (НИИ). Вместе с тем, актуальность вопроса, связанного с повышением ресурса шин обусловлена с совершенствованием конструкции, технологии изготовления и характеристик шин, а также увеличением объемов автомобильных перевозок в сложных дорожно-климатических условиях. Проблема усугубляется

ещё тем, что в горных карьерных условиях влияние отдельных элементов системы ВАДС, являясь значимыми факторами, занимают существенное место в формировании ресурса пневматических шин. Влияние отдельных элементов системы ВАДС и их сочетаний на реализацию ресурса шин в горных карьерных условиях заметно отличаются от влияния названных факторов при эксплуатации автомобилей в равнинных условиях, а их оценка имеет важное значения при корректировании ресурса шин и повышении эффективности транспортных процессов [102]. При этом вопросы, связанные с оценкой влияния элементов системы ВАДС и их сочетаний на формирование ресурса шин в горных карьерных условиях на сегодня остаются малоизученными [102].

До сих пор система водитель – автомобиль – дорога – среда (ВАДС) применялась по отношению к изучению эффективности организации дорожного движения. В данной работе система ВАДС используется в вопросах оценки эффективности транспортных процессов, в том числе оценки эксплуатационных показателей автомобиля и его агрегатов.

В соответствии с вышеизложенным, исследования, связанные с влиянием элементов системы ВАДС на формирование ресурса пневматических шин карьерных автомобилей – самосвалов является задачей актуальной, имеющей важное значение в повышении эффективности транспортных процессов.

В ходе исследований было установлено влияние элементов системы ВАДС на формирование ресурса пневматической шины в условиях горных карьеров. Результаты исследования носят научно-рекомендательный характер и могут быть применены при корректировании и нормировании ресурсов шин, а также планировании приобретения необходимого количества шин для обеспечения бесперебойного функционирования транспортного процесса и выполнения объемов работ по ТО и ремонта шин в условиях строительства горных ГТС и других объектов, приравненных к ним. В данной работе исследования оценки влияния элементов системы ВАДС на реализацию ресурса шин карьерных автомобилей – самосвалов проводилось в следующей последовательности:

– классификация системы ВАДС, изучение характера и значимости влияния элементов системы ВАДС, а также системный анализ влияния их сочетаний на реализацию ресурса шин в горных карьерных условиях при строительстве ГТС;

– теоретическое обоснование влияния отдельных элементов системы ВАДС и различных их сочетаний на реализацию ресурса автомобильных шин, а также моделирование комплексной оценки влияния системы ВАДС на износ и механические повреждения автомобильной шины;

– лабораторно - полевые (дорожные) испытания влияния элементов системы ВАДС на интенсивность изнашивания и механические повреждения автомобильных шин в горных карьерных условиях;

– обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию влияния системы ВАДС на реализацию ресурса шин.

Решение данной научно-практической задачи является необходимым условием оценки влияния элементов системы ВАДС на реализацию ресурса пневматических шин автомобилей – самосвалов, эксплуатируемых в горных карьерных условиях.

**Степень разработанности темы.** Весомый вклад в вопросах, связанных с оценкой ресурса шины карьерных автомобилей – самосвалов, внесли ученые: Абдулаев Э.К., Бакеев Р.Б., Вахламов В.К., Великанов Д.П., Горшков Ю.Г., Горюнов С.В., Гудков В.А., Захаров Н.С., Кнороз В.И., Лель Ю.И., Минаев Е.М., Устаров Р.М., Филькин Н.М., Резник Л.Г., Турсунов А.А. и др. [1-2, 10, 16, 18-19, 25-26, 27-28, 40-41, 51-52, 54-55, 65, 102, 103, 69, 84-88], в том числе, вопросам оценки комплексного влияния отдельных элементов системы ВАДС на износ протектора шины в равнинных условиях посвящены работы Аринин, И.Н., Девятова М.М., Еремина В.М., Козлова В.Г., Скворцовой Т.В., Трояновской И.П. и других [8, 44, 47, 56, 76, 97].

Исследования в области влияния горных условий эксплуатации на реализацию ресурса шин обобщены в трудах ученых: Абдулло М.А., Давлатшоева Р.А., Джобирова Ф.И., Каспарова А.А., Мамбеталина К.Т., Саибова

А.А., Сайдуллозода С.С., Слюдакова Л.Д., Суюнтбеков И.Э., Умирзокова А. М., Юнусова М.Ю. и др. [3, 43, 45, 55, 100, 93, 73-75, 78,90-102, 108-109].

Различные точки зрения относительно проблем оценки влияние отдельных элементов системы ВАДС на реализацию ресурса шин в различных условиях эксплуатации были выдвинуты в исследованиях таких зарубежных ученых, как: Abishev K., Bellet T., Buss D., Farahmand B., HansJ.W., Herman R., JanssenW.H., Jimenez F., Likaj R., Novak M., Oron-Gilad T., Robert H., Zhou M., и др [109, 110, 114, 132, 133, 135, 138, 140, 142, 149].

Проанализировав результаты научных работ вышеназванных авторов, можно сделать вывод о том, что вопросы, связанные с оценкой влияния элементов системы ВАДС и их сочетаний на ресурс автомобильных шин в горных карьерных условиях остаются малоизученными.

**Целью исследования** является оценка влияния элементов системы ВАДС и их сочетаний на реализацию ресурса пневматических шин автосамосвалов в горных карьерных условиях.

**Задачи исследования.** В соответствии с поставленной целью в диссертационной работе решаются следующие задачи:

1. Анализ классификационных характеристик элементов системы ВАДС в горных карьерных условиях.

2. Разработка математических моделей оценки влияния элементов системы ВАДС и их сочетаний на реализацию ресурса шин в горных карьерных условиях.

3.Обоснование коэффициентов корректирования для моделирования комплексной оценки влияния элементов системы ВАДС на износ и механические повреждения автомобильной шины.

4.Проведение экспериментальных исследований по установлению характера и степени влияния отдельных элементов системы ВАДС и различных их сочетаний на реализацию ресурса пневматических шин в горных карьерных.

5. Обобщение достигнутых результатов теоретических и экспериментальных исследований и разработка практических рекомендаций по повышению ресурса шин карьерных автосамосвалов в горных карьерных условиях.

**Объект исследования.** Процессы, связанные с влиянием элементов системы ВАДС на реализацию ресурса пневматических шин автосамосвалов в горных карьерных условиях.

**Предмет исследования.** Закономерности влияния отдельных элементов системы ВАДС и различных их сочетаний на ресурс пневматических шин автосамосвалов в горных карьерных условиях.

**Область исследований** соответствует паспорту специальности 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта». Полученные в работе научные результаты соответствуют п. 9 – «Эксплуатационная надежность автомобилей, агрегатов и систем», 10 – «Закономерности изменения технического состояния автомобилей, агрегатов и систем», п. 11 – «Закономерности изменения технического состояния автомобилей и агрегатов, технологического оборудования с целью совершенствования систем технического обслуживания и ремонта, определения нормативов технической эксплуатации, рациональных сроков службы автомобилей» и п. 19 – «Методы ресурсосбережения в автотранспортном комплексе».

**Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:**

1. Разработана классификационная схема влияния элементов системы ВАДС на повышение ресурса шин карьерных автосамосвалов в горных условиях.
2. Обоснованы особенности механизмов изнашивания рисунка протектора и механического повреждения шин автосамосвалов в горных карьерных условиях.
3. Предложены математические модели для оценки удельного износа протектора шины по энергетическим затратам в автотранспорте.
4. Предложена методика исследования влияния отдельных элементов системы ВАДС и комплексного влияния их сочетаний для решения вопроса, связанного с оценкой реализации ресурса шин карьерных автосамосвалов.
5. Предложены и обоснованы значения коэффициентов корректирования для моделирования комплексной оценки влияния элементов системы ВАДС на износ и повреждения автомобильной шины.

**Теоретическая значимость исследования.** Разработаны SADT-модели для оценки и управления влиянием элементов системы ВАДС на реализацию ресурса шин автосамосвалов. Разработаны математические модели, устанавливающие влияние отдельных элементов системы ВАДС на формирование ресурса пневматических шин в горных карьерных условиях. Разработаны математические модели для энергетической оценки удельного изнашивания протектора шины. Предложена модель комплексного влияния сочетания элементов системы ВАДС на ресурс шин карьерных автосамосвалов.

**Практическая значимость исследования.** Предложенная методика и разработанные модели оценки реализации ресурса пневматических шин автосамосвалов, под влиянием элементов системы ВАДС в горных карьерных условиях, способствуют:

- проводить расчеты по оценке и обоснованию удельной интенсивности износа рисунка протектора, обуславливающих ресурс шин карьерных автосамосвалов;
- корректировать и уточнять ресурс шин автосамосвалов в горных карьерных условиях;
- разрабатывать практические рекомендации по снижению влияния элементов системы ВАДС на ресурс пневматической шины автосамосвалов, эксплуатируемых в горных карьерных условиях;
- уточнять существующие нормы проведения ТО и ремонта шин, а также трудовых и материальных затрат для поддержания шин в работоспособном состоянии.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач используются следующие методы:

- расчетно-аналитические (теоретические) методы оценки интенсивности изнашивания по энергетическим затратам;
- методы стендовых и дорожных экспериментальных исследований оценки ресурса шин по интенсивности изнашивания протекторной резины и механических повреждений шин;

- методы SADT моделирования для оценки и управления влиянием элементов системы ВАДС на реализацию ресурса шин автосамосвалов;
- метод вероятностно-статистической обработки экспериментальных данных с применением компьютерного моделирования в среде Excel, Stat Soft (Statistica), Matlab / Simulink, Mathcati и др.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Предложенная концепция использования системы ВАДС для решения вопросов эффективности транспортного процесса, в том числе для реализации ресурса шин автосамосвалов в горных карьерных условиях.
2. Методика влияния отдельных элементов системы ВАДС и комплексного влияния их сочетаний на ресурс шин карьерных автосамосвалов.
3. Методика оценки удельной интенсивности изнашивания рисунка протектора шины по энергетическим параметрам автомобиля.
4. Математические модели оценки влияния элементов системы ВАДС и их сочетаний на формирование ресурса шин карьерных автосамосвалов в горных условиях.
5. Результаты экспериментальных исследований влияния абразивных свойств горных пород на интенсивность изнашивания рисунка протектора.

**Достоверность результатов исследования** подтверждена: использованием основных методов теории автомобиля, фундаментальных законов механики, методов построения физических и математических моделей, методов статистической обработки эмпирических данных, использованием программного комплекса Corel DRAW, Compass, Auto CAD и Matlab / Simulink, а также хорошей сходимостью теоретических и экспериментальных данных, расхождение между которыми не превышает 3%.

**Реализация результатов работы.** Результаты исследований приняты к внедрению в отделе транспорта АОО «Шабакахои таксимоти барк», а также в Таджикском техническом университете им. академика М.С. Осими, в рамках дисциплин «Анализ конструкции и элементы расчета автомобиля», «Специализированный подвижной состав автотранспортных средств», «Основы

теории надежности и диагностирования автомобиля» по направлениям подготовки «Наземные транспортно-технологические средства», «Автомобили и автомобильное хозяйство» и «Техническая эксплуатация автомобилей (автотранспорт общего и частного пользования)».

**Личный вклад автора заключается в:**

- формулировке основной идеи диссертационной работы;
- разработке концепции использования системы ВАДС для решения вопросов эффективности транспортного процесса, в том числе, для реализации ресурса шин автосамосвалов в горных карьерных условиях;
- разработке SADT моделей для оценки и управления влиянием элементов системы ВАДС на реализацию ресурса шин автосамосвалов;
- разработке математических моделей влияния элементов системы ВАДС и комплексного влияния их сочетаний на реализацию ресурса шин автосамосвалов в горных карьерных условиях;
- обосновании коэффициентов корректирования для моделирования комплексной оценки влияния элементов системы ВАДС на износ и повреждения автомобильной шины;
- анализе полученных результатов и разработке практических рекомендаций по повышению ресурса шин автосамосвалов в горных карьерах.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационного исследования были представлены в научных докладах и выступлениях:

- VIII Международная научно-практическая конференция «Перспективы развития науки и образования», посвященная 25 – летию Государственной независимости Республики Таджикистан и 60 – летию ТТУ им. Акад. М.С. Осими. – г. Душанбе, 2016 г.;
- II научно-практическая конференция «Таджикская наука–ведущий фактор развития общества». – г. Душанбе, 2017 г.;
- Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов в Тюменском индустриальном университете. – г. Тюмень, 2018 г.;

– III научно-практическая конференция аспирантов, магистрантов и студентов по теме «Наука-основа инновационного развития». – г. Душанбе, 2018 г.

– Республиканская научно-практическая конференция: «Инновационное развитие сельского хозяйства в условиях глобального изменения климата: современное состояние, проблемы и пути их решения» в Таджикском аграрном университете им. Ш. Шотемур. – г. Душанбе, 2020 г.;

– Всероссийский научно-технический семинар «Подвижность транспортно-технологических машин». – г. Н. Новгород, 2020 г.;

**Публикации.** По результатам, полученным при выполнении диссертационной работы, опубликованы 14 научных статей, в том числе 6 статей в изданиях перечня ВАКРТ, 3 статьи в изданиях перечня ВАК РФ, 1 статья в библиографической базе данных Scopus и Web of Science, 3 статьи опубликованы в материалах других изданий, 1 малый патент РТ.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения, практических рекомендаций, списка использованных источников и приложений. Работа изложена на 155 страницах машинописного текста и включает 57 рисунков, 16 таблицы. Список литературы, включает 149 наименований, в том числе 41 на иностранном языке и приложения на 9 страницах.

**Идея работы** заключается в использовании закономерностей изменения технического состояния шин карьерных автомобилей в зависимости от влияния элементов системы ВАДС и их различных сочетаний для разработки методических основ оценки и прогнозирования их норм пробега (ресурса), а также разработки мероприятий по улучшению эксплуатационных условий в горных карьерах.

# **1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ**

## **1.1 ОБЗОР И АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ВАДС НА РЕСУРС АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ**

Автомобильная шина, эксплуатируемая в горных карьерных условиях при разработке полезных ископаемых и строительстве ГТС, является наиболее уязвимым элементом грузового автомобиля, определяющим его надежность, производительность, топливную экономичность, безопасность и прочие эксплуатационные показатели. Уязвимость шин карьерных автомобилей обусловлена влиянием большого количества факторов, которые можно сгруппировать в рамках элементов системы ВАДС. Следовательно, оценка влияния элементов системы ВАДС на реализацию ресурса шин карьерных автосамосвалов в горных карьерных условиях является важной задачей, имеющей большое народнохозяйственное значение. Важным показателем надежности автомобильной шины является его ресурс, который обуславливается его конструктивными особенностями, эксплуатационными условиями и характером контакта шины с дорожным полотном. Характер контакта шины с дорожным полотном приобретает особую значимость при эксплуатации автомобиля в условиях горных карьеров.

Интенсивность реализации ресурса пневматических шин в горных условиях обоснована по результатам теоретических исследований на основе предположений о том, что основными значимыми факторами являются дорожные и климатические условия, изменения нормальных (радиальных) нагрузок, положения центра масс и др. [89, 91, 92, 95].

На основе априорных рассуждений установлено, что для горных условий эксплуатации грузовых автомобилей характерны следующие особенности [40, 95, 144, 149]:

– ресурс шин грузовых автомобилей в горных условиях значительно отличается от нормативного ресурса, установленного заводом изготовителем;

– имеет место частое снятие с эксплуатации шин автосамосвалов по причине механических повреждений, не подлежащих восстановлению;

– в данных условиях такие факторы как высота н. у. м., надежность водителя, скорость движения автомобиля (обычно, в горных карьерных условиях средняя скорость движения автосамосвалов за езду небольшая и составляет примерно 12...20 км/ч), вид погрузки и т.п. относятся к категории малозначимых факторов. Следовательно, в процессе экспериментальных исследований, влияние названных факторов не принимались во внимание [86].

Анализ работ, посвященных вопросам оценки влияния элементов системы ВАДС на ресурс автомобильных шин в различных дорожно-климатических условиях освещены в трудах таких ученых, как: Бакеев, Р.Б., Гудков, В.А., Загородний Н.А., Захаров Н.С., Курбаков, В.П., Минаева, Е.М., Трояновская И.П., [10, 40, 49, 51, 60, 65, 97], в том числе вопросам комплексной оценки влияния элементов системы ВАДС на интенсивность износа протектора шины посвящены работы Абрамова В.Н., Савчугова В.И., Горюнова С.В., Варченко В.Г., Бухина Б.Л., Шарипова В.Н., Соколова С.Л., Кульпина А.Г., Игуменовой Т.И., Кубракова В.П., Ганиева Р.С., Петрова А.И., Даштиева И.З., Афанасьева Б.А., Барского И.Б., Иванова А.М., Солнцева А.Н. и др. [14, 17, 18, 25, 26].

Значительный вклад в области исследования влияния отдельных элементов системы ВАДС на интенсивность износа рисунка протектора и механических повреждений в горных карьерных условиях внесли ученые: Кондрашова Е. В., Петрищев И. В., Скрыпников А., Дорохин С. В., Левин М.А., Фуфаев Н.А., Гоздек В.С., Белкин А.Е., Нарская Н.Л., Одинцова О.А., Непомнящий Е. Ф., Суюнтбеков И. С., и др. [13, 21-24, 29, 30-45, 68-73].

Исследованию проблемы оценки влияния отдельных элементов системы ВАДС на долговечность автомобильных шин и реализацию их ресурса в различных эксплуатационных условиях посвящены труды таких зарубежных ученых, как: Rill, G., Levin M.A., Bakker E., Pacey H.B., Nyborg L., Pacey H.B., VanPutten S. и др. [51-54, 57-65, 74].

Изучению влияния геометрии автомобильных дорог, неровности дорожного покрытия на срок службы автомобильной шины уделено значительное внимание в трудах Ю.Г. Горшкова [26, 27]. Вопросы влияния дорожных и климатических условий изложены в трудах В.И. Кнороза при проработке вопросов последовательного движения колесных движителей по одной колее, также им предложено ведение учета временного фактора в процессе воздействия шин на грунтовое основание дороги [55].

В исследованиях Саибова А.А., Умирзокова А.М., Маллабоева У.М., Мамбеталина К. Т., Сайдуллозода С.С., Джобирова Ф.И. и др. авторов освещены вопросы комплексного влияния различных сочетаний элементов системы ВАДС на эффективность транспортного процесса, в частности на формирование надежности и долговечности отдельных агрегатов автомобиля [89, 90-101, 94, 73, 72-74, 45].

Вопросы влияния отдельной подсистемы системы ВАДС на реализацию ресурса шин внесли значительную лепту такие ученые, как: Захаров Н.С., Умирзоков А.М., Устаров Р. М., Горшков Ю.Г., Трояновская И.П., Фалькин Н.М., Herman R. и др., которые посвятили свои исследования влиянию подсистемы «автомобиль-дорога» на реализацию ресурса шины [51-52, 90-101, 102, 26, 97, 103, 126].

В работах таких ученых как Вахламов В.К., Сайдуллозода С.С., Скворцова Т.В., Мамбеталин К.Т., Турсунов А.А., Умирзоков А.М., Саибов А.А., Маллабоев У.М., Abishev K.K., Hans J.W., Likaj R. приведен разносторонний анализ и предложены математические и компьютерные модели для исследования подсистемы «водитель-автомобиль», [16, 72-74, 76, 73, 84-88, 90-101, 94, 109, 124, 135].

Анализ работы подсистемы «водитель-дорога» приведен в работах ученых Бабкова В.Ф., Калужского Я.А., Леонович, И.И., Bellet T., Buss D., Farahmand B., Janssen W.H., Oron-Gilad T. и др. [15, 55, 64, 110, 111, 114, 132, 140].

Проанализировав результаты научных исследований вышеназванных авторов, можно сделать вывод о том, что вопросы исследования оценки влияния

отдельных элементов системы ВАДС и их сочетаний на ресурс автомобильных шины в горных карьерных условиях, остаются малоизученными.

На основе результатов оценки потери работоспособности шин автосамосвалов при их контактировании с асфальтобетонным дорожным полотном можно сделать вывод о том, что они, в большинстве случаев (от 70 до 90 %), снимаются с эксплуатации по причине предельного износа протекторной резины.

В не профилированных автодорогах, проложенных в горных карьерных условиях, наблюдается рост выхода из строя шин, обусловленных отслоением и вырыванием части протектора, а также по причине прокола, разрыва каркаса и порезов протектора [66].

В зимние месяцы износ протектора шин снижается на 30 - 40% чем летний период из-за благоприятных температурных условий эксплуатации, а также по причине, выравнивания дорожного полотна слоем укатанного снега.

Теплообмен между шиной и окружающей средой (воздухом и дорожным покрытием) в условиях постоянства внутреннего давления в шине, обусловлен следующими факторами:

- весом или радиальной нагрузкой, передаваемой автомобилем на дорогу через шину;
  - скоростью движения автосамосвала;
  - тепловым воздействием на шину (влиянием температур воздуха и дороги)
- [51].

В работах Юнусова М. Ю. и других освещены вопросы о том, что в значительной степени на реализацию ресурса шин влияют такие эксплуатационные факторы как: дорожные и климатические условия, скорость движения автомобиля и радиальная нагрузка, приложенная на шину [41, 49, 99, 100, 72].

В своих исследованиях Бродский Г.И. из всего многообразия факторов, обуславливающих реализацию ресурса автомобильной шины, в качестве значимых, связанных с условиями эксплуатации, выделяет четыре фактора: касательная нагрузка, передаваемая через колесо на дорожное полотно, динамизм

или варьирование радиальной нагрузки во времени, температура дорожного полотна и ее качество [21].

Авторами некоторых работ разработаны классификационные схемы факторов, влияющих на реализацию ресурса пневматических шин [84, 89].

Захаров Н.С. на основе результатов исследований, направленных на изучение вопросов, связанных с реализацией ресурса автомобильных шин и интенсивностью изнашивания протекторной резины, разработал классификационную схему, по следующим пяти признакам:

- уровень соответствия технического состояния автомобиля требованиям нормативно-технических документов;
- организационно-технологические факторы,
- стиль езды или мастерство управления автомобилем;
- эксплуатационные условия;
- конструктивные особенности шин и технология их производства.

Из перечисленных факторов путем априорного ранжирования автором обоснованы три значимо влияющие факторы: уровень соответствия технического состояния автомобиля требованиям нормативно-технических документов, организационно-технологические факторы и эксплуатационные условия [40,48].

Вопросы классификации факторов, влияющих на реализацию ресурса шин изучены в трудах Алаэдина А. М. [4]. Автор объединяет все разнообразие факторов, обуславливающих ресурс шин, в следующие группы:

- технико-эксплуатационные характеристики (тягово-сцепные факторы, радиальная нагрузка, давление воздуха внутри шины, скорость движения автомобиля и т.п.);
- работоспособность автомобиля;
- организационные и технологические особенности эксплуатации автомобиля;
- уровень мастерства водителя или стиль езды;
- дорожные и климатические факторы;
- конструктивные особенности и технология производства шины;

- особенности устройства автомобиля;
- прочие факторы (температура дорожного полотна, чрезмерная консервация шины и др.).

По результатам экспертного опроса, проведенного совместно с сотрудниками Технологического парка Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими, установлено, что из вышеперечисленных 8 групп факторов, выделенных Алаэдином А. М., наиболее значимыми являются три фактора: технико-эксплуатационные характеристики, уровень мастерства водителя или стиль езды, дорожные и климатические факторы.

Умирзоков А.М. и соавторы предлагают классификационные характеристики факторов, влияющих на пробег шины в условиях горных карьеров по двум признакам: технико-эксплуатационным и по управляемости [90]. Согласно этому, по признаку возможности управления действием факторов на ресурс шин, их можно свести на три группы: полностью управляемые, частично управляемые и неуправляемые. В качестве технико-эксплуатационных признаков тоже выделяются три основные группы: конструктивно-технологические, эксплуатационные и дорожно-климатические. Следует отметить, что такая классификационная характеристика наиболее полно охватывает многообразие факторов, влияющих на реализацию ресурса шины в горных карьерных условиях [90].

Особенности механизма изнашивания шины и лежащие в его основу сочетания факторов, характерных для горных карьерных условий, освещены в трудах Гудкова, В. А., Трояновской И.П., Сайдуллозода С.С., Суюнтбекова И.Э. и др. [40, 97, 72-74, 82].

## **1.2 КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ ВАДС**

В оценке ресурса шины карьерных автосамосвалов первостепенную важность приобретают вопросы, связанные с классификацией системы ВАДС, её структуры, отношения и связи между её элементами, а также свойства организации

и оценки энтропии в данной системе. При этом необходимо уделить внимание повышению эффективности и надежности отдельных элементов и их сочетаний, которые образуют целостность и единство системы ВАДС [47, 90].

Классификация любой системы относительна. Не является исключением и система ВАДС, где одновременно могут иметь место естественные и искусственные, а также дискретные и аналоговые признаки отдельных ее элементов и процессов. В процессе уточнения свойств и признаков системы ВАДС выделены наиболее существенные и важные из них, способствующие упрощению создания адекватных и достоверных математических моделей, а также упрощению задач, связанных с повышением ресурса шины карьерных автосамосвалов в карьерных условиях (рис. 1.1).

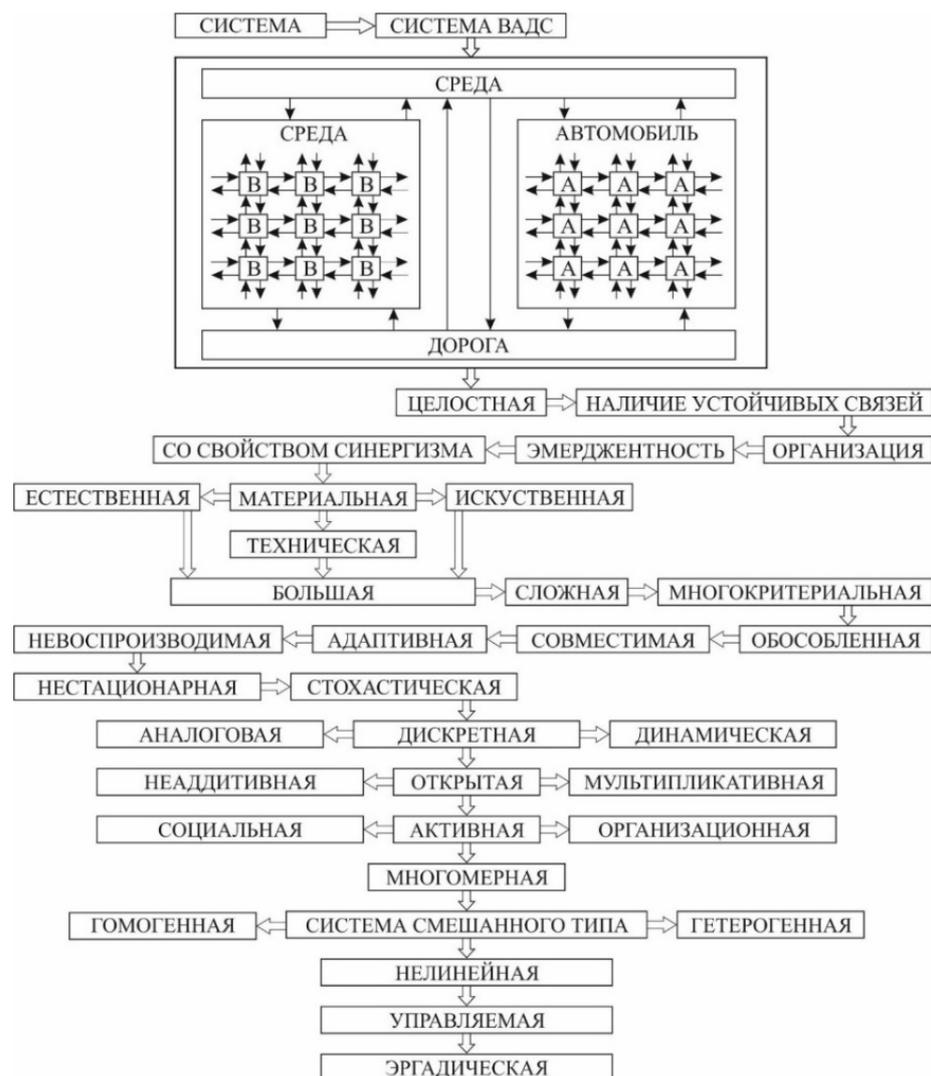


Рисунок 1.1– Классификация системы ВАДС

Система ВАДС способствует упрощению решения проблем, связанных с повышением эффективности транспортной системы, в частности, с оценкой ресурса шин автосамосвалов, эксплуатируемых в горных карьерных условиях, но при этом необходимо иметь достаточные и достоверные знания о структуре системы, об отношениях и связях между компонентами (элементами или подсистемами).

С учетом приведенной классификации системы ВАДС, дальнейшее исследование влияния ее элементов на реализацию ресурса пневматических шин автосамосвалов производится по разработанной схеме взаимодействия подсистем и элементов системы ВАДС в процессе ее функционирования в горных карьерных условиях (рис. 1.2).

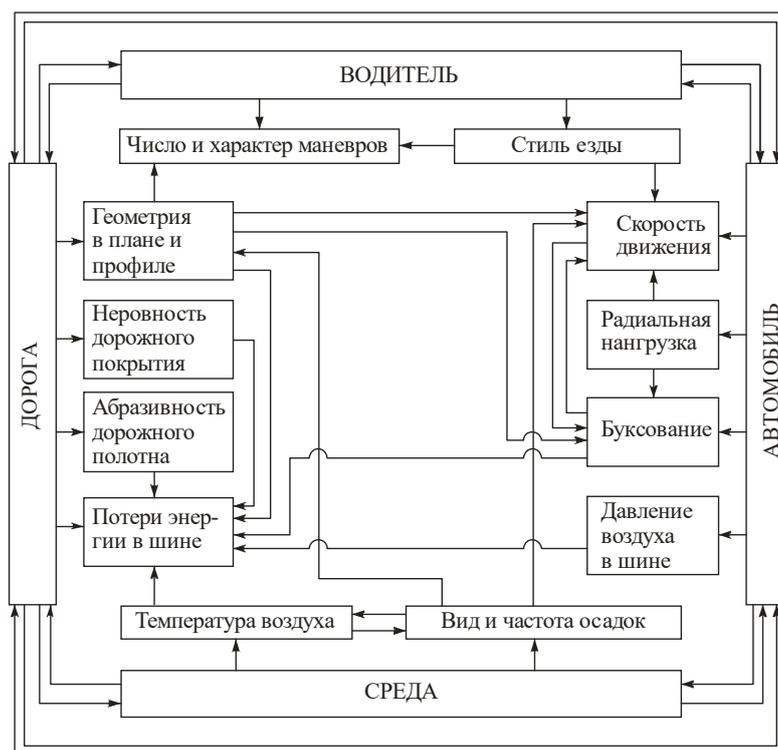


Рисунок 1.2 – Схема взаимодействия подсистем и элементов системы ВАДС в процессе реализации ресурса шин карьерных автосамосвалов

Особенностью системы ВАДС заключается в том, что ее можно рассматривать как в узком, так и в широком смысле. В узком смысле слова под

системой ВАДС имеется в виду отношения и закономерные взаимосвязи между единичными компонентами, т.е. между отдельным водителем, автомобилем, участком дороги и средой [90].

Предлагаемая классификация нацелена на более простое решение столь важных и сложных задач, связанных, с оценкой эффективности и надежности системы ВАДС.

### 1.3 АНАЛИЗ АВТОМОБИЛЬНОГО ПАРКА В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН

На сегодня доля грузооборота, приходящаяся на автомобильный транспорт, составляет около 8% мирового грузооборота. Объем грузов, перевозимых автомобильным транспортом в мире, составляет 80-85%. Этот показатель в Республике Таджикистан приближается к 95%. Основная часть грузов (до 80-90%) от общего их объема перевозится специализированным подвижным составом.

По данным ряда источников (например, Wards Auto), автомобильный парк в мире на сегодня составляет более одного миллиарда единиц, в том числе, более 525 тысяч автотранспортных средств зарегистрированы в Республике Таджикистан. По уровню автомобилизации Таджикистан занимает 130 место в мире, где на 1000 человек приходится около 65 автомобилей, рост которого из года в год стабильно составляет около 2% (рис.1.3).

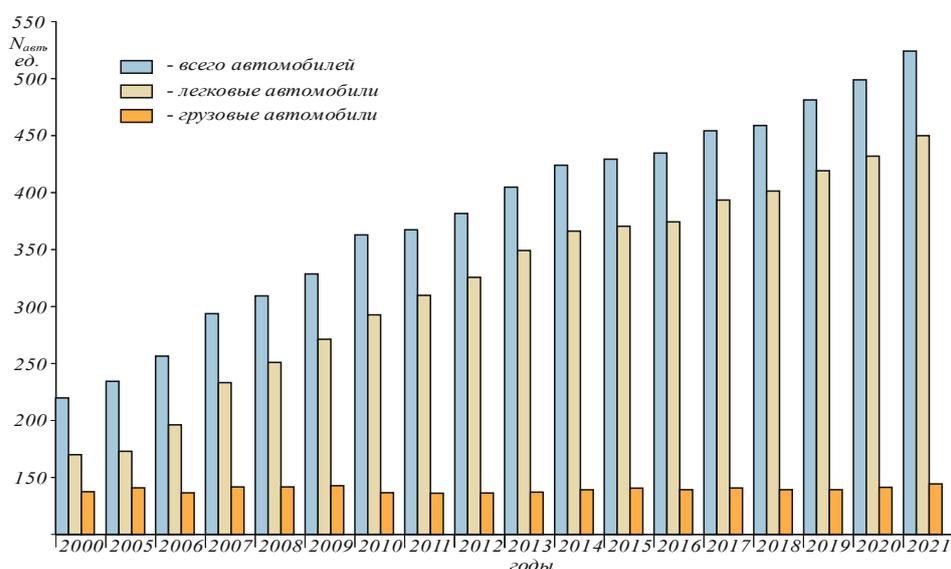


Рисунок 1.3 – Динамика автомобилизации в Республике Таджикистан

По Республике Таджикистан в 2020 году автомобильным транспортом было транспортировано свыше 40 млн. тонн различных грузов, что примерно на 20% больше, чем в 2010 году. Из этого объёма транспортных работ большая часть выполнено в горнодобывающей отрасли, а также в сложных дорожно-климатических условиях гор.

По удельному потреблению автомобильных шин, отнесённого на единицу объёма грузоперевозок, Таджикистан занимает один из ведущих позиций среди стран СНГ, что в основном обусловлено среднесуточным пробегом автомобилей в конкретных условиях их эксплуатации (рис. 1.4).

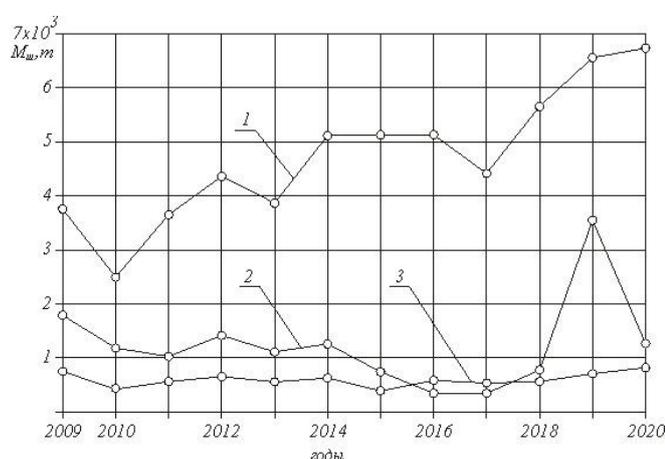


Рисунок 1.4 – Динамика потребности в пневматических шинах в Республике Таджикистан: 1- общая годовая потребность в шинах. 2- шины грузовых автомобилей. 3-шины карьерных автосамосвалов

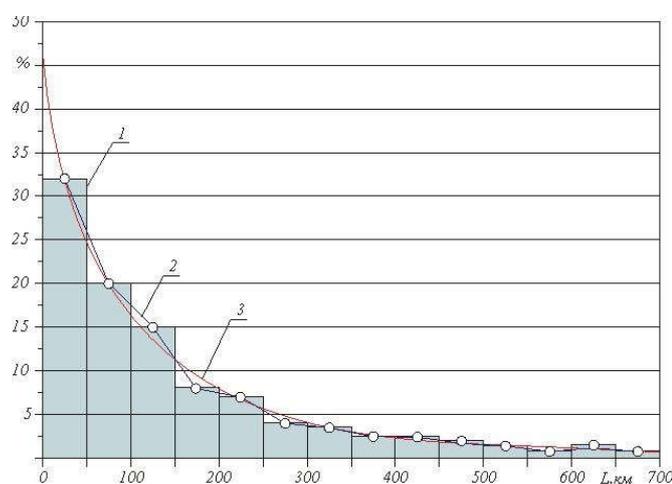


Рисунок 1.5 – Гистограмма (1), полигон (2) и теоретическая кривая распределения (3) среднесуточного пробега автомобилей в условиях РТ:  $L_{cp} = 150$  км/сутки

Суровость условия эксплуатации в горных карьерах Республики Таджикистан способствует повышению интенсивности износа протекторной резины большегрузных автомобилей самосвалов. При этом интенсивность износа шин различных марок типоразмера 12.00.R20 в горных карьерах превышает 50 - 60% по сравнению с равнинными условиями эксплуатации автомобилей. В данных условиях наблюдается снижение среднего ресурса шины в пределах от 45 до 50% по сравнению с нормой пробега шин, установленной заводом изготовителем (рис. 1.6.)

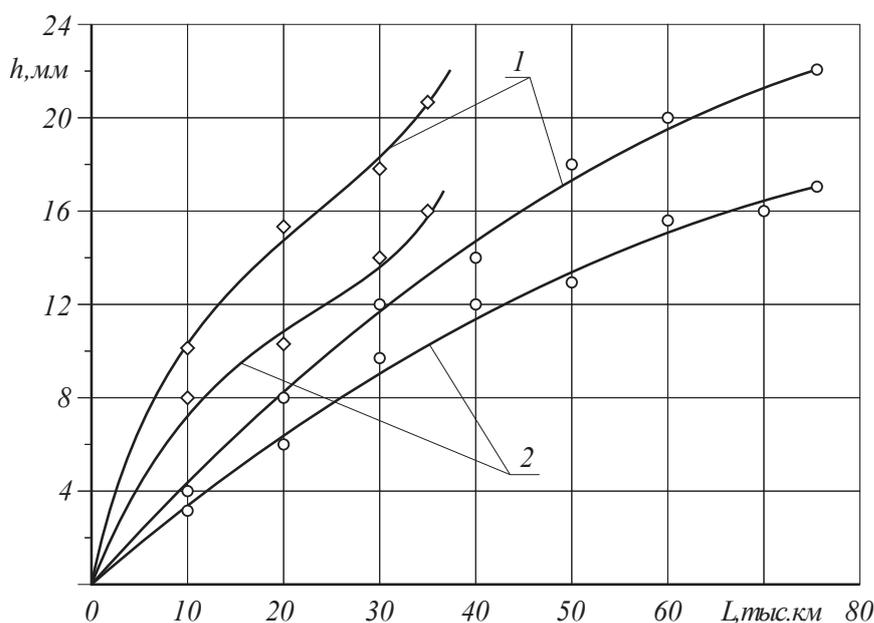


Рисунок 1.6 – Зависимость износа шины  $h$  от ее пробега  $L$  для разных марок шин типоразмера 12.00R20: 1- тайтong; 2 – омскшина; —○— - износ шины в нормальных условиях эксплуатации; —◇— - износ шины в реальных горных карьерных условиях эксплуатации.

Износ протекторной резины не является единственной или доминирующей причиной потери работоспособности шин большегрузных автосамосвалов, эксплуатируемых в сложных горных условиях. Причин снятия с эксплуатации шин грузовых автомобилей, характерных для условий горных карьеров на насчитываются около 40, которые классифицированы по следующим признакам: естественной износ и разрушение шины; преждевременной износ и разрушение шины (рис. 1.7).

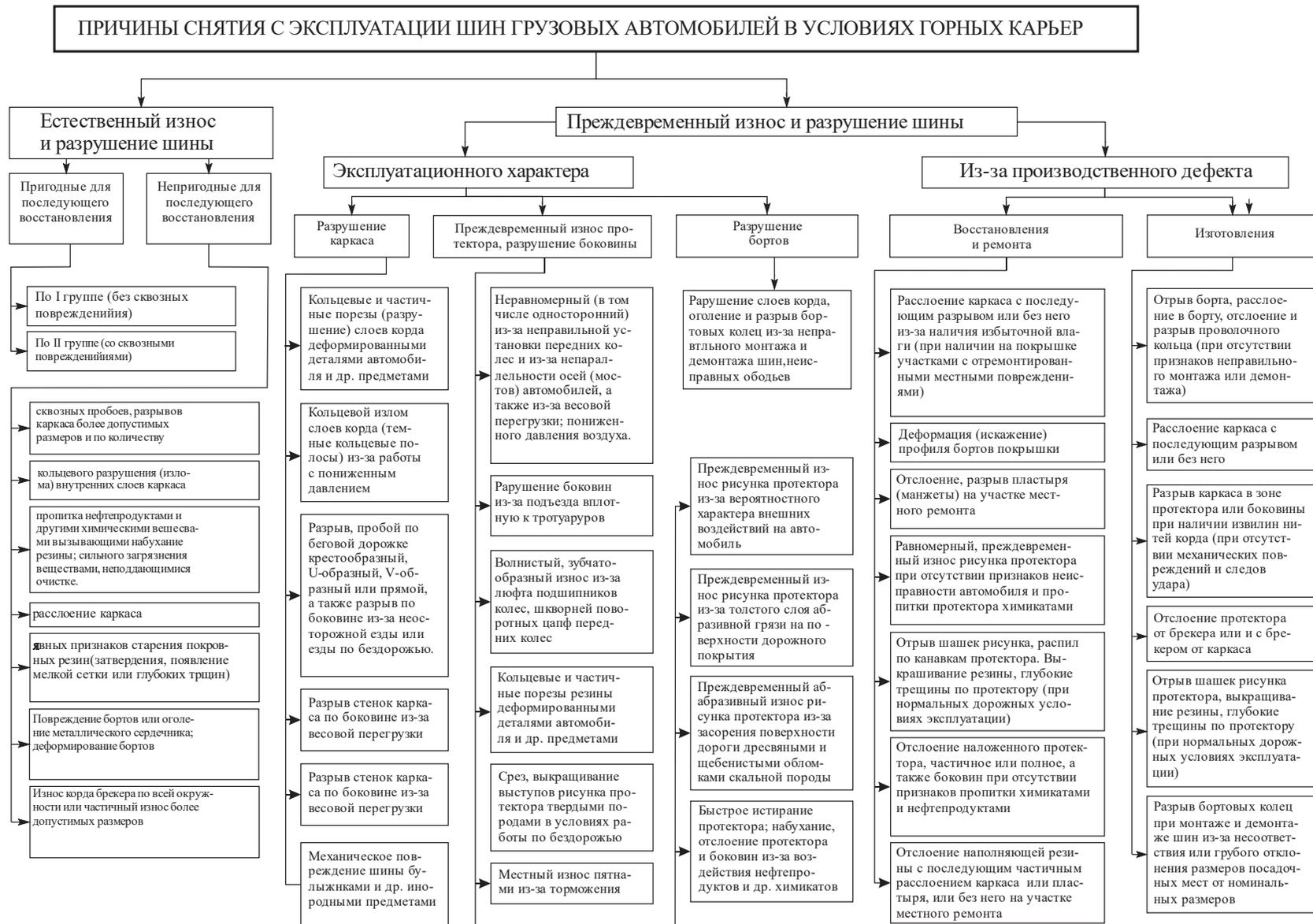


Рисунок 1.7 – Классификация причин снятия с эксплуатации шин грузовых автомобилей в условиях горных карьеров

Из всего разнообразия отказов шин грузовых автомобилей в горных условиях наряду с износами протекторной шины наиболее часто встречаются такие отказы как прокол, взрыв, расслоение протектора и т.п. (рис.1.8)

Наиболее значимыми факторами в формировании ресурса шин, связанных с эксплуатационными характеристиками автомобиля, как элемента системы ВАДС, являются скорость движения автомобиля, радиальная нагрузка на шину, давление воздуха внутри шины и частое чередование качения шины с режимом буксования, обусловленного сложностью геометрии дороги в плане и в профиле, а также частотой манёвров.

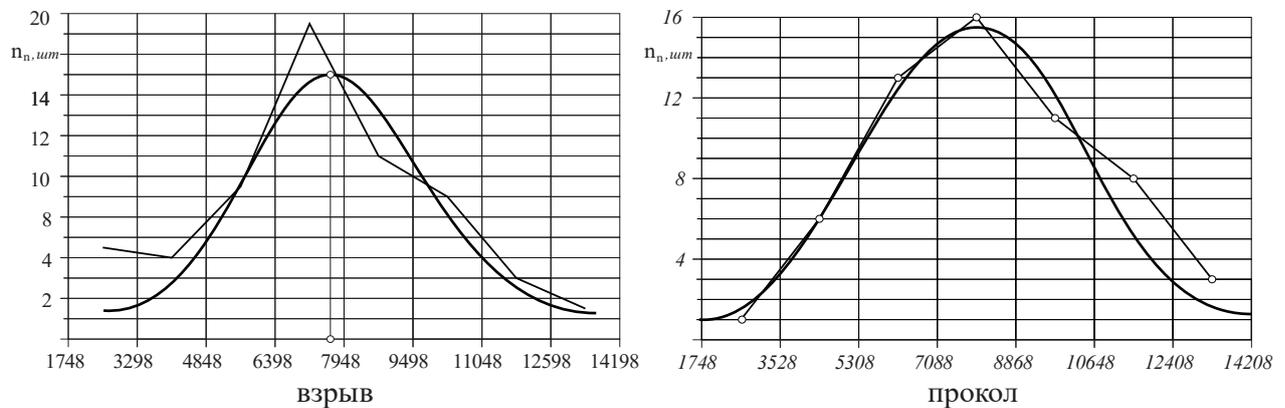


Рисунок 1.8 – Распределения механических повреждений шин типоразмера 12.00R20 карьерных автосамосвалов

#### 1.4 Влияние скорости движения и дорожных условий на износ шин

В условиях горных карьеров при строительстве ГТС и открытой разработки полезных ископаемых при транспортировании различных пород средняя скорость большегрузных автомобилей за езду обычно варьирует в пределах от 12 до 20 км/ч. Несмотря на то, что средняя скорость движения большегрузных автомобилей по карьерным дорогам относительно не высокая, она существенно влияет на формирование ресурса шины в данных условиях.

Износ шины в горных карьерных дорогах из-за скорости движения автосамосвала связан, главным образом, с повышением гистерезисных потерь в

шине с увеличением неровности дорожного-покрытия, что, в свою очередь, приводит к увеличению температуры шины при достаточно высокой радиальной нагрузке. В результате этого ухудшаются упруго-прочностные свойства протекторной резины и уменьшается сопротивляемость резины истиранию. [53].

Примерная картина влияния скорости движения автомобилей на срок службы шины для различных условий эксплуатации представлена на рис. 1.9.

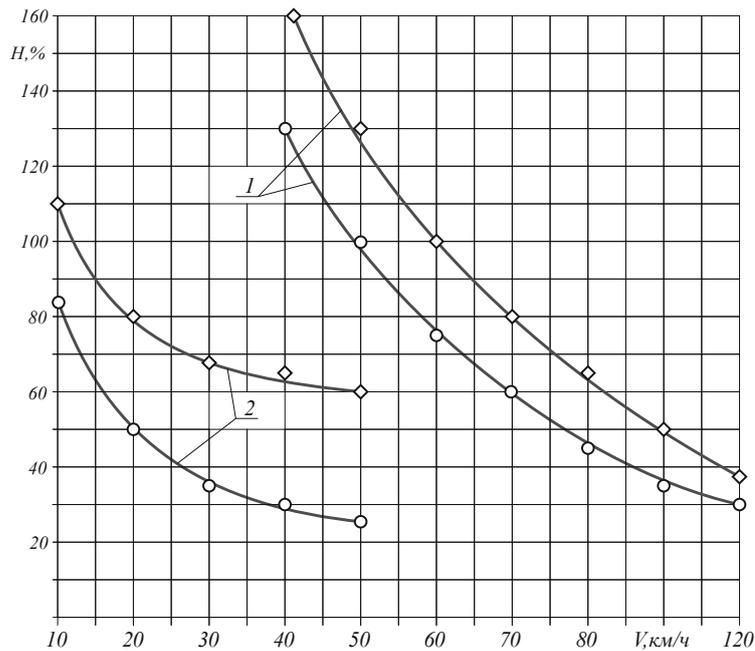


Рисунок 1.9. – Примерное влияние скорости движения автомобилей на срок службы шины: 1– легковые автомобили; 2– большегрузные автомобили:

—○— в равнинных дорогах с асфальтобетонным покрытием;

—◇— в горных карьерных условиях

### 1.5 ВЛИЯНИЕ РАДИАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА РЕСУРС ШИН

Одним из самых важных факторов, оказывающих существенное влияние формированию ресурса шин в условиях горных карьеров, является радиальная нагрузка. В процессе исследования установлено значительное превышение полной массы автомобиля от допустимого её значения. В горных карьерных условиях, при значительных высотах н.у.м. и специфической среде

эксплуатации, радиальная нагрузка на шину варьирует в широких пределах, что обусловлено сложной геометрией дороги, повышенной неровностью дорожного покрытия. Распределение нагрузки между колесами и отдельными шинами автомобиля в указанных условиях носит случайный характер, а закон распределения полной массы автомобиля определяется на основе теории вероятностей.

Результаты статистической обработки опытных данных о полной массе автомобиля БелАЗ–7540В, полученных совместно с сотрудниками технологического парка ТТУ имени академика М. С. Осими в условиях строительства Рогунской ГЭС, представлены в виде графиков эмпирических и теоретических функций частот распределения полной массы автомобиля на рис. 1.10.

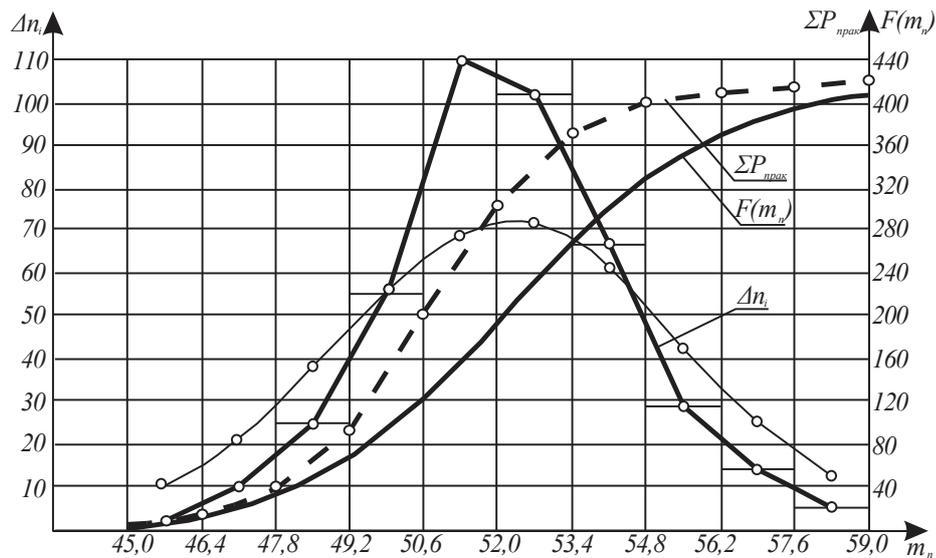


Рисунок 1.10 – Графики функций частот распределения веса груженого автосамосвала БелАЗ–7540В:  $\sigma = 3,26$  т;  $\nu = 6\%$ ;  $m_a = 52,17$  т.

По результатам статистической обработки данных о полной массе автомобилей БелАЗ–7540В, эксплуатируемых в горных карьерных условиях, установлено, что среднее значение полной массы данного автомобиля, как правило, превышает установленную норму примерно на 50 ... 55%. При этом, минимальное и максимальное значения полной массы автомобилей БелАЗ-

7450В при транспортировке горной породы составляют соответственно 45 и 59 тонн.

В случае роста радиальной нагрузки (полной массы автомобиля) при достаточно больших продольных уклонах, достигающих  $6^\circ$  в отдельных участках дороги, повышается значение крутящего момента ведущих колес, что, в свою очередь, является причиной интенсивного износа протекторной резины и прочих механических повреждений шин, что характерно для условий их эксплуатации в горных карьерах.

Зависимость интенсивности износа шин типоразмеров 18.00-25 и 12.00R20 от полной массы автомобиля представлены на рис. 1.11.

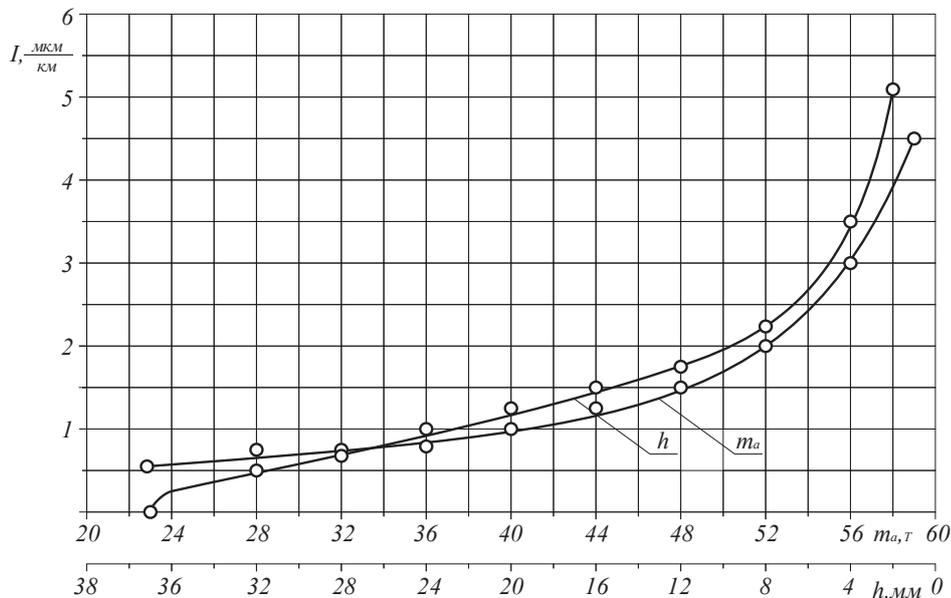


Рисунок 1.11—Графики зависимости интенсивности изнашивания протекторной резины шины типоразмера 18.00-25 от ее остаточной высоты и веса автомобиля

**Буксование колеса.** Буксование колеса автомобиля в сочетании с неровностью и абразивностью дороги, температуры шины, а также радиальной нагрузки способствует значительному повышению износа протекторной резины, в условиях горных карьеров. Для карьерных автосамосвалов, эксплуатируемых в сложных условиях (нестационарность режима движения, высокая плотность распределения мелко-и крупнообломочных горных пород на поверхности

карьерной дорожки) величина буксования колеса способствует значительному росту интенсивности износа шины. Несмотря на это, независимо от типа автомобиля, эксплуатируемого в различных эксплуатационных условиях, вопросы оценки влияния величины буксования на ресурс шины до сих пор остаются малоизученными.

Следует отметить, что при эксплуатации автосамосвалов в горных карьерных условиях буксование значительно влияет на ряд эксплуатационных факторов, в целом снижая эффективность функционирования системы ВАДС (рис. 1.12).



Рисунок. 1.12– Последствия буксования карьерного автосамосвала

Известно, что наибольшее значение коэффициента сцепления колёс с дорожным покрытием наблюдается при значениях коэффициента буксования, равного 0,10 – 0,15% при движении автомобиля в тормозном и ведущем режимах в пределах ограничений по сцеплению (рис. 1.13).

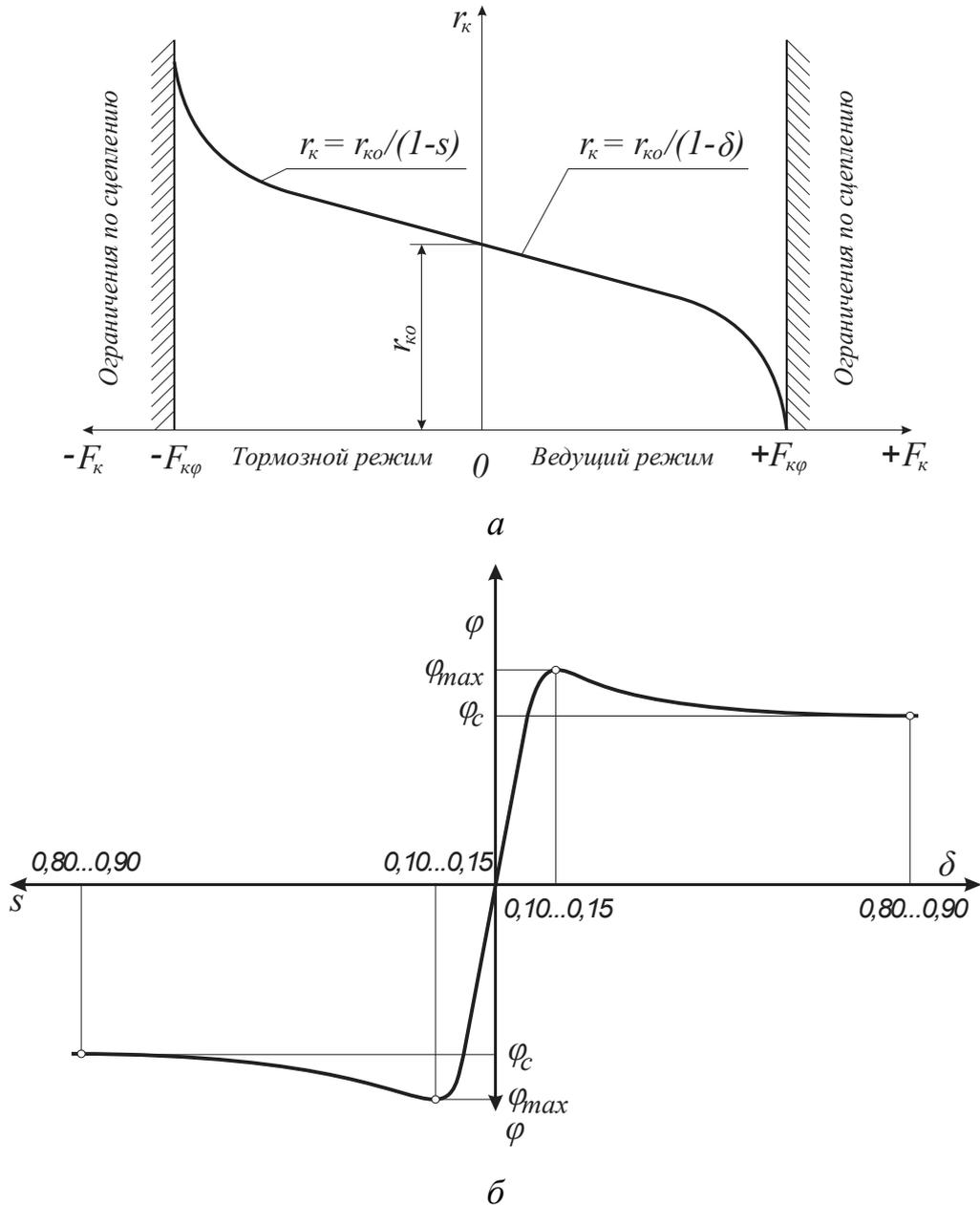


Рисунок 1.13 – Графики режимов движения при ограничениях по сцеплению (а) и зависимости коэффициентов сцепления от буксования колеса (б): 1 – движение юзом ( $r_k \rightarrow \infty$ ); 2–движение с недостаточным сцеплением; 3 – качение колеса в ведомом режиме; 4 – движение с недостаточным сцеплением; 5 – полное буксование ( $r_k = 0$ )

Для условий эксплуатации автосамосвалов в горных карьерных дорогах установлено, что коэффициент буксования колеса варьирует в широких пределах, распределение средневзвешенного значения которого составляет 4,5%. При этом среднеквадратичное отклонение параметра составляет  $\sigma = 1,5\%$ , а коэффициент вариации –  $v=0,33$  (рис. 1.14).

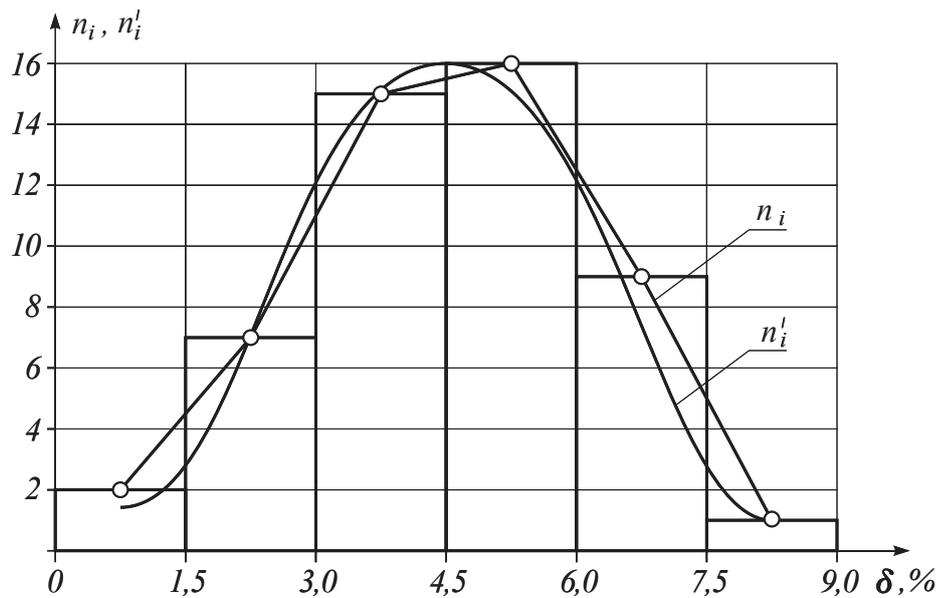


Рисунок 1.14 – Распределение средневзвешенного значения коэффициента буксования колеса карьерного большегрузного автомобиля в горных условиях при строительстве ГТС:  $\bar{\delta} = 4,5\%$ ;  $\sigma = 1,5\%$ ;  $v = 0,33$

Поверхности горных карьерных дорог, в значительной степени, засыпаны гравийными (размером 2...50 мм) и галечниковыми (размером 10...200 мм) частицами различной породы и форм, вследствие разрушения скальной породы при вскрышных работах, в процессе загрузки и перевозки грунта.

В состав обломков горных пород, главным образом, входят абразивные частицы неправильной формы с шероховатой поверхностью, смешанных с неоднородными мелкими частицами глины и пыли.

Крупность обломков скальных пород, засыпанных на поверхность карьерной дороги выявлена путем гранулометрического анализа по методу

просеивания на ситах [41, 50]. Результаты гранулометрического анализа обломков горных пород представлены на рис.1.15.

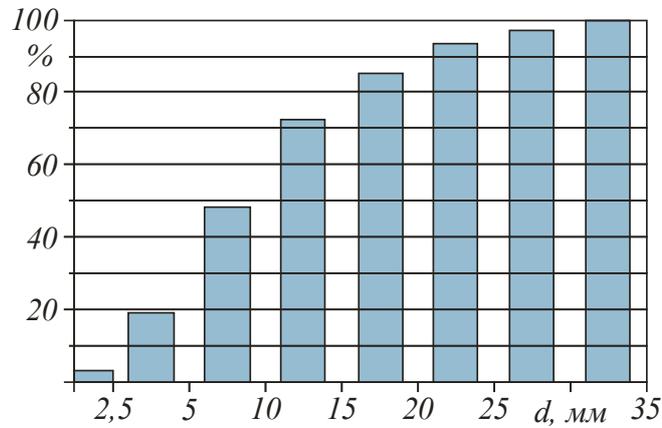


Рисунок 1.15 – Результаты гранулометрического анализа обломков горных пород методом просеивания на ситах

Геометрия дороги в плане и профиле характеризуется продолжительными крутыми подъёмами и спусками, высокой плотностью поворотов на 1 км пути. В условиях горных карьеров продолжительность подъёмом и спусков на 1 км пути составляет от 20 до 50% в различных маршрутах движения, а число поворотов составляют от 3 до 18 шт. на 1 км пути (рис. 1.16)

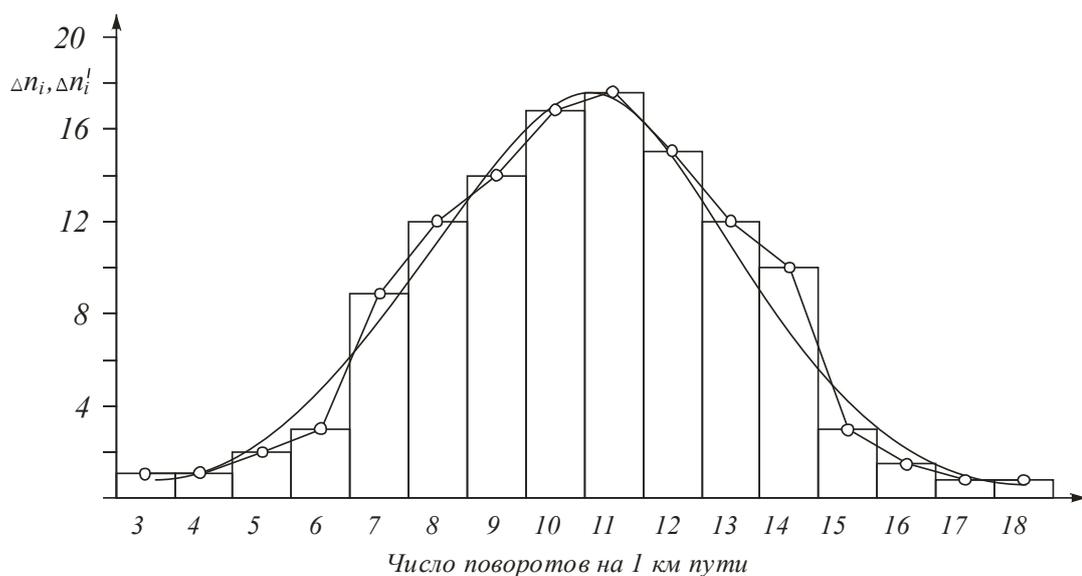


Рисунок 1.16 – Распределение числа поворотов на 1 км пути карьерной дороги

### 1.5.1 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕРОВНОСТИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ НА РЕСУРС ШИН

Горные карьерные дороги отличаются значительной неровностью в продольном и поперечном направлениях, значения которых распределяются по показательному (экспоненциальному) теоретическому закону и для различных маршрутов движения варьируют в пределах от 10 до 500 м/км (рис. 1.17).

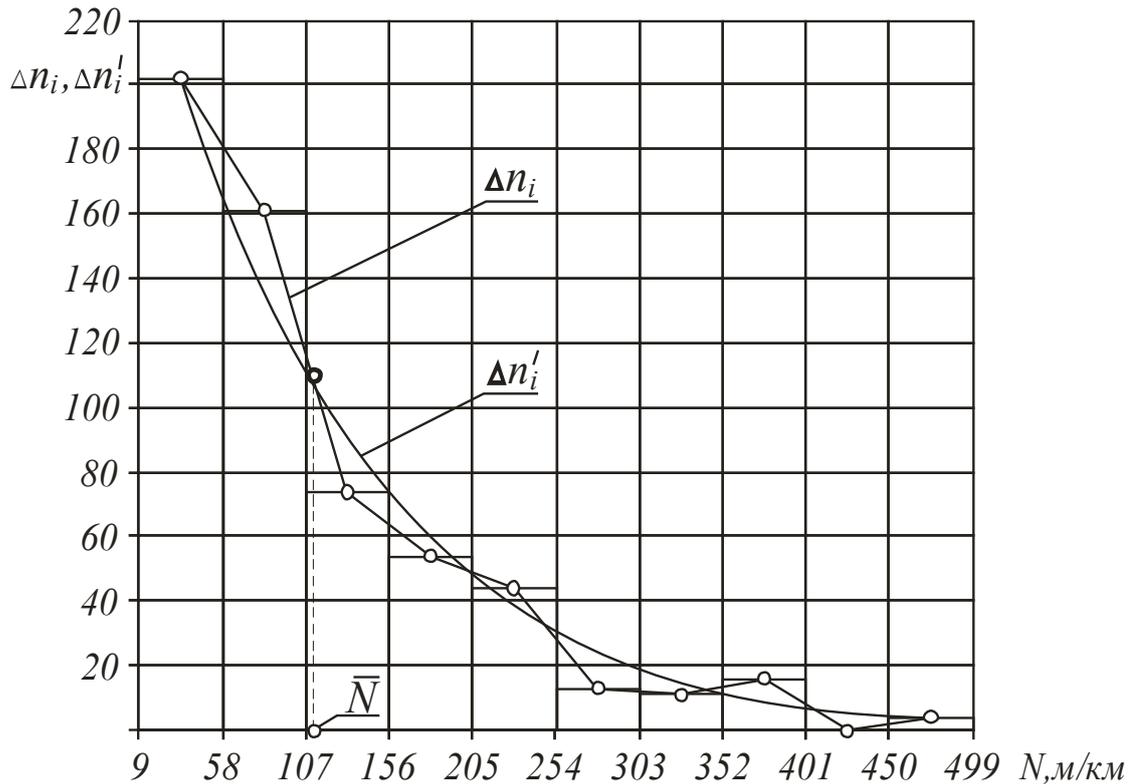


Рисунок 1.17 – Распределение неровности горной карьерной дороги:  $N_{ср} = 111,9$  м/км;  $\sigma = 91,03$  м/км;  $v = 0,81$  (по данным сотрудников ДАО «Основное строительство» ОАО «Рогунская ГЭС»)

Эффективность горной карьерной дороги в горных условиях формируется под влиянием большого числа факторов. Поэтому для ее оценки целесообразным является применение обобщенного динамического коэффициента (ОДК)  $k_d$ , учитывающего совместное (комплексное) влияние многочисленных факторов. Многообразие факторов, обуславливающих эффективность карьерной дороги подробно рассмотрены в [21, 33, 87, 93].

Значение ОДК для конкретных дорожных условий вычисляется как отношение обобщённого показателя качества (ОПК)  $i$ -го маршрута дороги  $P_{\partial i}$  на нормативное значение ОПК дороги  $P_{\partial n}$ .

До сегодняшнего дня вопрос оценки влияния неровности дороги на интенсивность износа шин при эксплуатации большегрузных автомобилей в условиях горных карьеров до конца не изучены. Отдельные моменты вопроса рассмотрены в трудах Умирзокова А.М., Трояновской И.П., Сайдуллозода С.С., Джобирова Ф.И. и др. [89-101, 97, 72-74], где отмечают, что при движении автомобиля по неровным дорогам резко увеличивается сопротивление качению колеса из-за роста гистерезисных потерь в шине.

Числовые значения ОПК карьерной дороги и ОДК для горных карьерных дорог, определенные рядом авторов [41, 89-101], сведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1– Значения ОДК

Номер участка маршрута	Показатель			
	$P_{\partial n}$	$P_{\partial i}$	$k_{di}$	$k_D$
1	0,25	0,219	0,876	0,124
2	0,25	0,218	0,872	0,128
3	0,25	0,220	0,880	0,120
4	0,25	0,219	0,876	0,124

ОДК дороги характеризует сложность дорожных условий и зависит от ряда факторов: ширины и состояния обочин, продольных и поперечных уклонов, радиусов кривизны, интенсивности движения, обзорности, состояния и прочности дорожной одежды, скорости движения автомобиля, неровности дорожного покрытия, числа маневров и высоты над уровнем моря. (рис. 1.18).

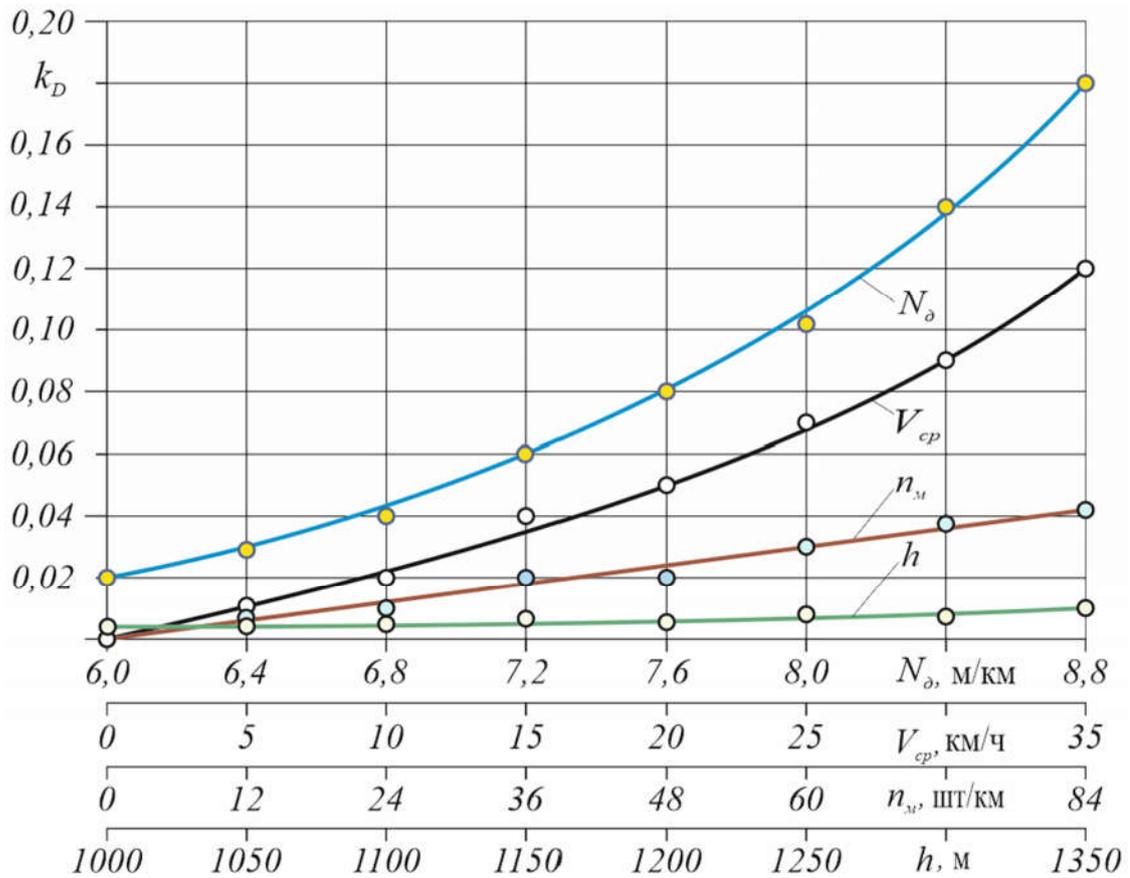


Рисунок 1.18 – Графики зависимости ОДК  $k_D$  от условий эксплуатации: средней скорости движения автосамосвала за езду  $V_{сп}$ , неровности дорожного покрытия  $N_d$ , числа маневров  $n_m$  и высоты над уровнем моря  $h$ .

На основе анализа теоретических и экспериментальных исследований выявлено, что в горных карьерах при строительстве ГТС ОДК равняется  $k_D = 0,12 - 0,13$  [97].

ОПК  $i$ -го маршрута карьерной дороги  $\Pi_{\partial i}$  рассчитывается из формулы [21]

$$\Pi_{\partial i} = K\Pi_{\partial i} \cdot K_{обi} \cdot K_{эi}, \quad (1.1)$$

где  $K\Pi_{\partial i}$  – комплексный показатель транспортно-эксплуатационного качества дороги (ТЭКД);  $K_{об}$  – показатель инженерного оборудования и обустройства;  $K_{э}$  – показатель уровня эксплуатационного содержания дороги.

Нормативные значения ОПК определяется из выражения [21]

$$\Pi_{\partial н} = K\Pi_{\partial н} \cdot K_{обн} \cdot K_{эн}, \quad (1.2)$$

где  $KП_{дн}$  – комплексный показатель ТЭКД [21] (для горных карьерных условий принята V категория дороги);  $K_{обн}$  – нормативный коэффициент для учета инженерного оборудования и обустройства дороги ( $K_{обн} = 1$ );  $K_{эн}$  – нормативный показатель, учитывающий эксплуатационный уровень содержания дороги ( $K_{эн} = 1$ ).

Комплексный показатель ТЭКД  $KП_{di}$  определяется по формуле

$$KП_{di} = \sum_{i=1}^n K_{psi}^{умог} \cdot l_i / L, \quad (1.3)$$

где  $K_{psi}^{умог}$  – коэффициент обеспеченности расчётной скорости;  $l_i$  – длина участка маршрута, для которого определялось значение коэффициента обеспеченности расчётной скорости, км;  $L$  – длина маршрута, км.

Для оценки эффективности функционирования карьерной автомобильной дороги в горных условиях, ОКД  $k_D$  определяется из выражения

$$k_D = 1 - k_{di} \quad (1.4)$$

### 1.5.2 ВЛИЯНИЕ АБРАЗИВНОСТИ ДОРОГИ НА РЕСУРС ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ШИНЫ

Между автомобильной шиной и дорожным покрытием протекает сложный процесс взаимодействия, которое характеризуется значительными нагрузочными, температурными напряжениями и низким качеством дорожного покрытия, отличающегося высокой агрессивностью. Из всевозможных видов изнашивания для данных условий преобладают такие разновидности истирания как абразивный и посредством скатывания, а также их сочетания, которые отличаются высокой интенсивностью, чем обусловлена низкая долговечность шины.

В процессе взаимодействия шины с дорожным покрытием происходят следующие виды нарушений пятна касания, называемых фрикционными связями [41, 99, 110, 134]:

а) микрорезание или царапание рисунка протектора, обусловленные взаимодействием шины с засыпанными на поверхности дорожного полотна дресвяными и щебенистыми обломками скальной породы с острыми ребрами и гранями при больших контактных давлениях, превосходящих предел прочности эластичного материала шины;

б) упругое оттеснение относится к наиболее типичному случаю истирания резины, при котором разрушение материала происходит за большое число циклов;

в) адгезионный отрыв, обуславливающий молекулярную составляющую силы трения на поверхности соприкосновения. Адгезия всегда присутствует при любом виде взаимодействия, но она невелика по сравнению с объемной прочностью материала;

г) когезионный отрыв, или схватывание поверхностей, сопровождающееся глубинным вырыванием материала.

Усталостное истирание рисунка протектора отличается относительно низкой интенсивностью в сравнении с износом посредством скатывания и абразивным износом.

Абразивное изнашивание рисунка протектора наблюдаются при разрушительном взаимодействии автомобильной шины с мелко- и крупнообломочными горными породами (рис.1.19), отличающимися высокой абразивной способностью.

Особенность абразивного истирания рисунка протектора автомобильной шины заключается в том, что она одновременно взаимодействует с неподвижно закрепленными и подвижными абразивными частицами, и обломками твердой породы на поверхности дороги, которые отличаются широким спектром форм, размеров, механических свойств и абразивной способностью. При этом в процессе абразивного истирания, в основном, участвуют мелко-и угловатообломочные породы скального происхождения. Если мелкообломочные породы в виде алевритов и песка участвуют в формировании неглубоких и мелких царапин, то угловатообломочные породы оставляют на теле шины

глубокие и крупные прорезы, способствуя при этом снижению абразивной стойкости резины из-за увеличения контактной площади.

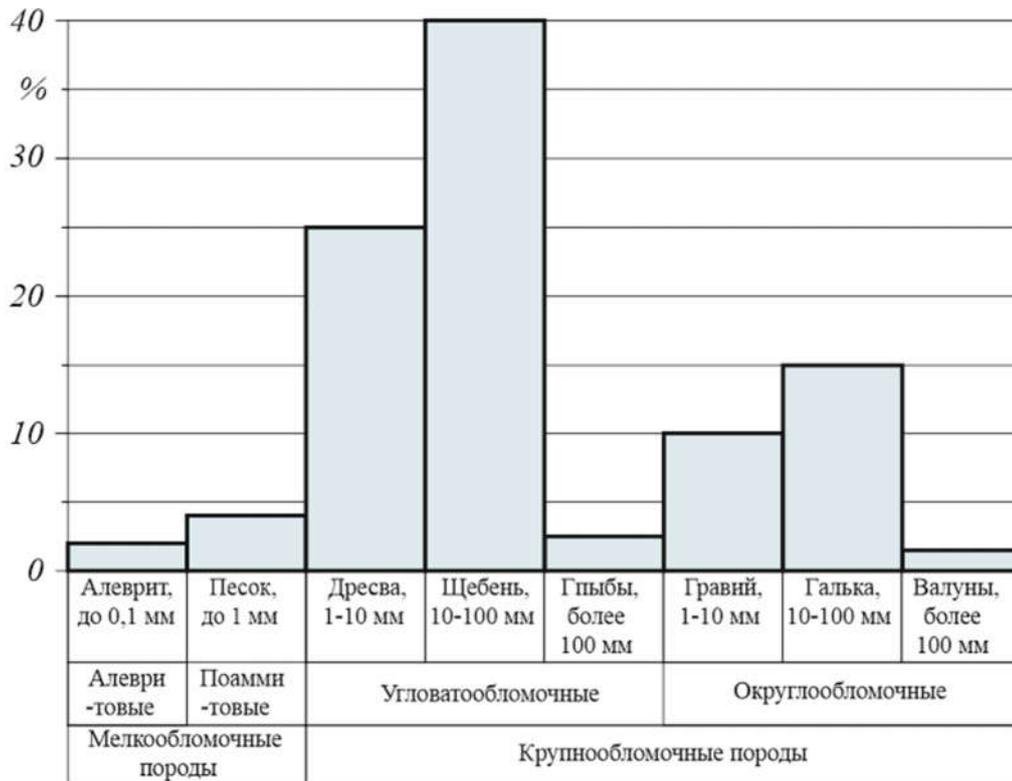


Рисунок 1.19 – Распределение горных пород (по массе) на поверхности карьерных дорог в горных условиях

При движении автомобиля образованные царапины и прорезы протектора шины насыщаются абразивными частицами горной породы различных размеров и форм, усугубляя и без того сложный процесс истирания резины. К тому же насыщение поверхности протектора твердыми частицами приводит к повышению жесткости протекторной резины, и как следствие, снижению ее износостойкости. Кроме того, крупнообломочные породы служат причиной частых механических повреждений в виде проколов, разрывов и пробоев. По данным литературных источников [108] около 40% бракованных шин, эксплуатирующихся в горных условиях, пришло в негодность по причине порезов или проколов острыми предметами и большими камнями (рис. 1.20).



Рисунок 1.20 – Механические повреждения шин при эксплуатации в горных условиях

В процессе эксплуатации автомобильной шины в абразивной среде происходит постепенное вдавливание мелко- и угловатообломочных частиц в протекторную резину и насыщение ими протекторной резины.

На величину абразивного изнашивания и его интенсивность влияют следующие факторы [102, 62]:

- природа происхождения абразивных частиц;
- среда эксплуатации автомобильной шины (степень агрессивности среды);
- свойство протекторной резины и характеристики дорожных условий, которые включают в себя тип и состояние дорожного покрытия, характеристику плана и профиля дороги;
- ударные нагрузки из-за неровности дорожного полотна;
- температурные показатели и многие другие.

В горных условиях абразивные частицы, засыпанные на поверхности дорожного полотна, в основном, выпадают из кузова автомобиля-самосвала при перевозке вскрышных горных пород из-за сложности дорожных условий. Горные карьерные дороги, проложенные на высотах от 1000 до 2000 м над уровнем моря, отличаются неровностью покрытия, а также сложностью ее

геометрии в плане и профиле, характеризуемыми частыми подъемами и спусками, и большим числом поворотов за погонный км дороги (табл.1.2).

Основную долю абразивных частиц в этих условиях составляют такие горные породы скального происхождения как галит, гранит, гематит и др. отличающиеся высокими показателями плотности, прочности (стойкости одноосному давлению), твердости и абразивной способности. В целом, в абразивном изнашивании рисунка протектора автомобильной шины так или иначе принимают участие свыше десяти разновидностей горных пород, разбросанных (распределенных) на поверхности дорожного покрытия.

Таблица 1.2 – Показатели условий эксплуатации в горных карьерах (на примере строительства ГТС)

Показатель, формирующий условие эксплуатации	Пределы варьирования	Ср. значение показателя
Количество подъемов и спусков на 1 км пути, шт	1 ... 10	4
Количество поворотов на 1 км пути, шт	4 ... 20	11
Количество ускорений (разгонов) на 1 км пути, шт	12 ... 16	14
Количество замедлений на 1 км пути, шт	8 ... 12	10
Неровность дорожного покрытия, м/км	7 ... 8	7,5
Количество торможений на 1 км пути, шт	11 ... 15	13
Всего количества маневров на 1 км пути, шт	36 ... 65	50
Температура воздуха, °С	- 16 ... +35	9
Среднее количество дней осадков в году, дни	75 ... 100	85
Среднее количество осадков в году, мм	800 ... 950	880

Высота над уровнем моря, м	1100 ... 1440	1320
Абразивная способность	-	высокая

В горных карьерных дорогах нередко встречается вид изнашивания, называемый гидроабразивным. Как разновидность гидроабразивного изнашивания, часто встречающейся в условиях горных карьеров, следует отметить истирание протектора шины в среде толстого слоя грязи, достигающего до 10 см и выше, содержащего высокую концентрацию абразивных частиц в виде мелко-и крупнообломочных скальных пород [98, 100] (рис. 1.21).



а)

б)

Рисунок 1.21 – Дорожные условия в горных карьерах: а – сухое дорожное покрытие с засыпанными абразивными породами; б – дорожное полотно, покрытое слоем грязи, содержащее высокую концентрацию абразивных частиц

Хотя механизм процесса изнашивания рисунка протектора шины в среде абразивной грязи на сегодня остается вопросом до конца не изученным, сотрудниками технологического парка Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими установлено, что интенсивность изнашивания рисунка протектора в среде абразивной грязи на 10-15% превышает интенсивность изнашивания на сухой карьерной дороге. Установлено также, что при эксплуатации автомобиля до 12-18% увеличивается параметр потока отказов или среднее число отказов шин в течение определенной наработки по причине

механического повреждения в среде абразивной грязи по сравнению с сухим дорожным покрытием. Тому причиной является частые наезды шины на крупнообломочные скальные породы в виде обломков с острыми ребрами и гранями, которые остаются не замеченными со стороны водителя под лужей грязной воды или грязи.

В процессе эксплуатации автосамосвалов древесяные и щебнистые обломки твердых пород с острыми ребрами и гранями внедряются и часто застревают в теле автомобильной шины в области ее протектора (рис. 1.22), оставляя при этом глубокие и довольно обширные прорезы и глухие проколы, тем самым способствуя дальнейшему ускоренному абразивному истиранию [93, 100].



Рисунок 1.22 – Глухие проколы шин обломками твердых скальных пород

При движении автомобиля по горным карьерным дорогам остроконечные щебни вдавливаются в тело шины и углубляются в него (рис. 1.23). На практике не исключается случай наступления тем же местом, т.е. застрявшим щебенистым осколком на другой твердый предмет (осколок щебня, булыжник, галечник и др.) и глубокое вдавливание до сквозного прокалывания протектора шины.

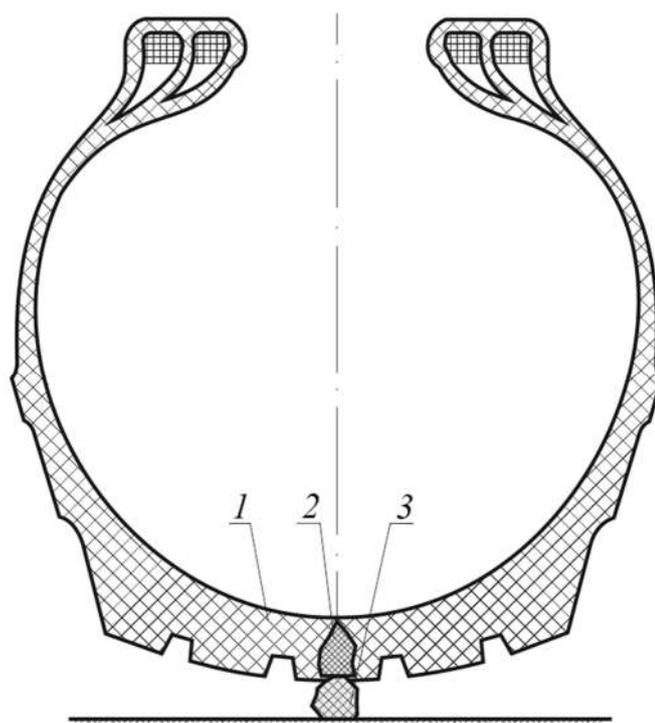


Рисунок 1.23 – Механизм механического повреждения шины в следствие последовательного внедрения обломков твердой скальной породы, засыпанной в виде щебня или галечника в тело протектора: 1 – автомобильная шина; 2 – обломок твердой скальной породы в виде щебня с острыми ребрами и гранями; 3 – галечник или обломок твердой скальной породы

### 1.5.3 ВЛИЯНИЕ ВИДА И ЧАСТОТЫ МАНЕВРОВ НА РЕАЛИЗАЦИЮ РЕСУРСА ШИНЫ АВТОСАМОСВАЛА В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ КАРЬЕРОВ

Любой манёвр, выполняемый большегрузным транспортным средством в сложных карьерных условиях, сопровождается значительным объемом энергообмена между автомобильным колесом и поверхностью дороги, чем в

свою очередь обусловлена зависимостью ресурс автомобильной шины от числа и характера выполнения маневров. Для этого установлено число маневров на 1 км пути в горных карьерах.

По данным хронометражного наблюдения эксплуатации большегрузных самосвалов в горных карьерах, сотрудниками технологического парка ТТУ имени академика М. С. Осими, уточнены виды и частоты маневров (табл.1.3.)

Таблица 1.3 – Виды и частота маневров в условиях эксплуатации большегрузных самосвалов в высокогорных карьерах

№ п/п	Маневр	Вид маневра	Частота маневров на 1 км пути
1	прямолинейный	начало движения	0,2-0,4 (0,4-1,2)
2		набор скорости	20-26
3		снижение скорости	15-18
4		торможение	18-24
5		остановка	0,3-0,6
6	криволинейный	поворот направо	10-14
7		поворот налево	12-15
8		перестроение	-
9		разворот	0,2
10		движение задним ходом	0,4-0,6
11	совместное	обгон	-
12	маневрирование	объезд	0,1-0,2
13	погрузка и разгрузка		по одному на езду

Интенсивность износа протекторной резины и число механических повреждений автомобильных шин связаны с частотой и характером (динамизмом выполнения) маневров, а в процессе эксплуатации большегрузных самосвалов в условиях горных карьеров эта связь выражается все отчетливее.

Заводом-изготовителем (Белшина) для шин типоразмеров 18.00-25 и 12.00-20 установлены нормативные пробеги, соответственно равные 45 и 70 тыс. км. Для указанных типоразмеров шин в условиях эксплуатации в горных карьерах реальные пробеги этих шин составляют не более 30 и 45 тыс. км соответственно.

По результатам анализа эксплуатации шин автосамосвалов в горных карьерных условиях установлено, что их нормативный (номинальный) ресурс в среднем снижается до 55% и можно утверждать, что тому причиной является, кроме прочих факторов, вид и частота маневров в сложных дорожных и климатических условиях.

### **1.6 АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МАСТЕРСТВА ВОДИТЕЛЯ НА РЕСУРС ШИНЫ**

Важным фактором в формировании ресурса шин карьерных автосамосвалов является управление автомобилем, что связано характером энергообменных процессов в контакте колеса с дорожным полотном. При этом оценка влияния стиля вождения на реализацию ресурса шин автосамосвалов произведена по ряду показателей: энергетическим, экономическим, надежностным, а также по показателю материальных затрат.

Оценка эффективности работы водителя по энергетическим и экономическим показателям выполнена на основе интенсивности износа и механических повреждений шин автосамосвала соответственно.

Оценка влияния эффективности функционирования водителя по показателям надежности выполнена на основе удельных затрат времени, труда, а также финансовых затрат на устранение эксплуатационных и ресурсных отказов шин.

В суровых условиях горных карьеров при разработке полезных ископаемых и строительстве ГТС ключевым фактором эффективности преобразования энергии между шиной и дорожным покрытием, используемого для выполнения транспортной операции, является водитель [98]. Эффективность

его функционирования в значительной мере формирует эффективность функционирования самого автомобиля и ресурс автомобильной шины [98].

Для комплексной оценки влияния эффективности управления автомобилем ЭВШ на реализацию ресурса шин в горных условиях при строительстве ГТС можно пользоваться формулой:

$$\mathcal{E}_{\text{ВШ}} = \mathcal{E}_{\text{ЭН}} \cdot \mathcal{E}_{\text{ЭК}} \cdot \mathcal{E}_{\text{Н}} \cdot \mathcal{E}_{\text{М}}, \quad (1.5)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ЭН}}$ ,  $\mathcal{E}_{\text{ЭК}}$ ,  $\mathcal{E}_{\text{Н}}$ ,  $\mathcal{E}_{\text{М}}$  – составляющие эффективности влияния управления автомобилем соответственно, по энергетическим, экономическим и надежностным показателям, а также по показателю материальных затрат [98].

Энергетическая составляющая оценки влияния эффективности водителя  $\mathcal{E}_{\text{ЭН}}$  на реализацию ресурса шин формируется, в основном, за счет удельного износа шины и механического повреждения на единицу наработки (рис. 1.24).

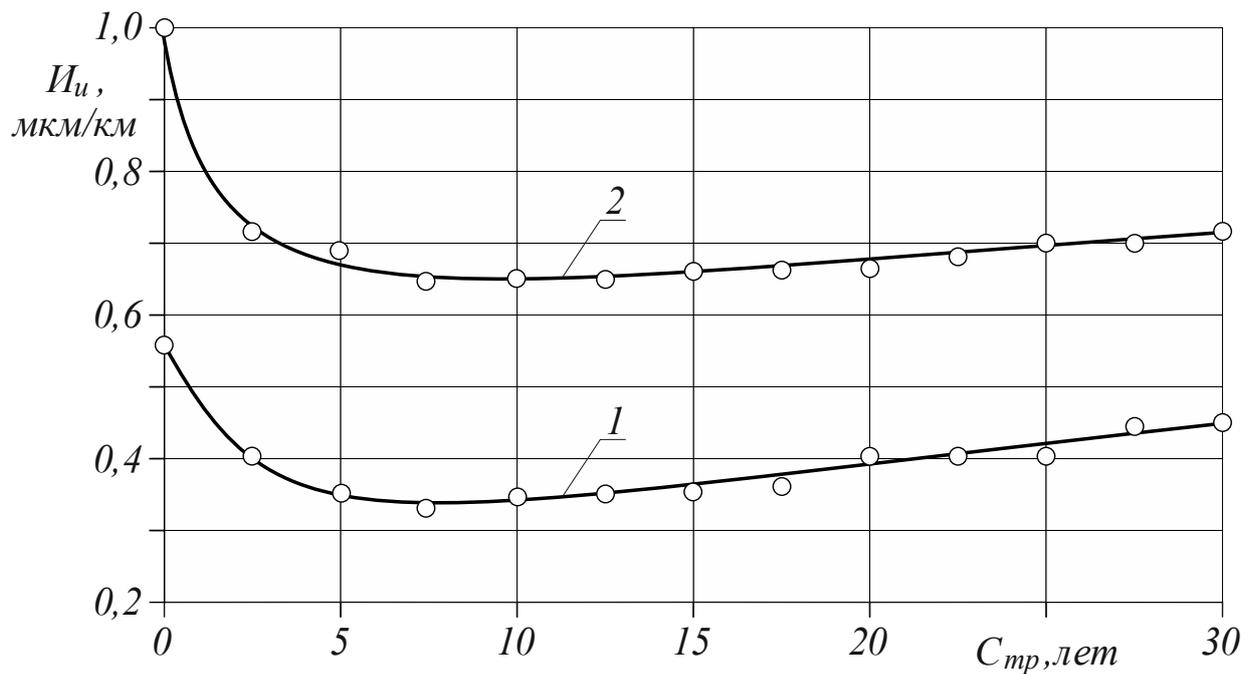


Рисунок 1.24 – График зависимости интенсивности износа протекторной резины шин типоразмеров 12.00-20 (1) и 18.00-25 (2) от стажа работы (мастерства) водителя.

Стиль вождения автомобилем является комплексным показателем, влияющим на формирование ресурса шин в горных карьерных условиях эксплуатации большегрузных автосамосвалов. Данный показатель включает в себя такие наиболее значимые факторы, влияющие на ресурс шины, как тормозной путь, стаж работы водителя и число выполняемых манёвров (рис.1.25)

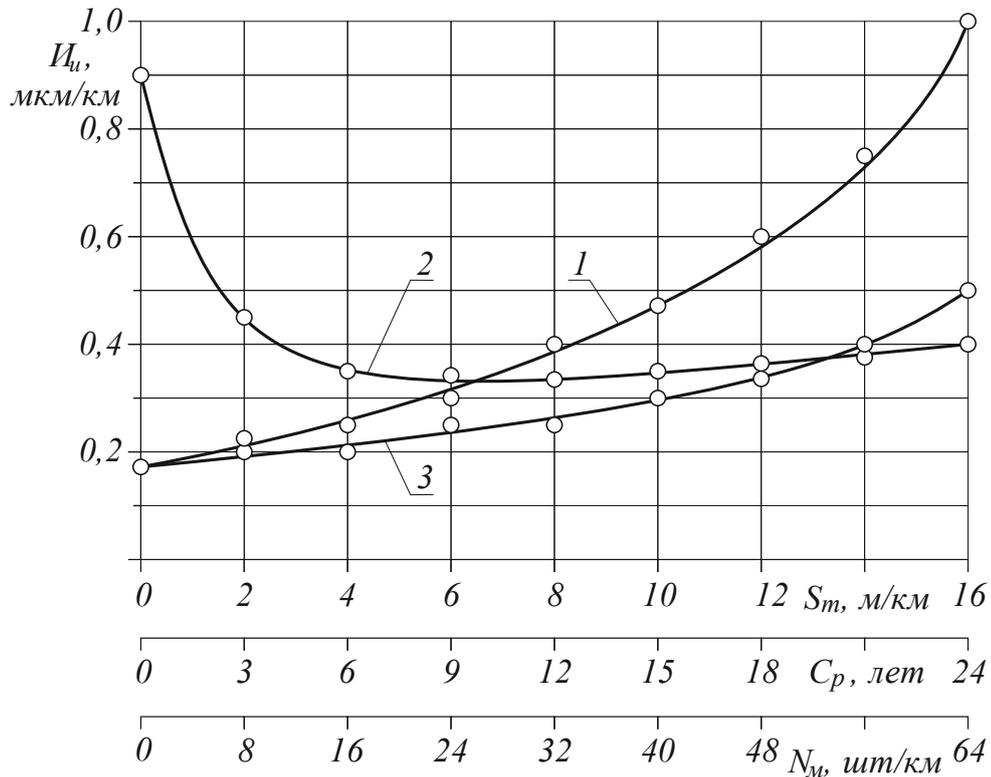


Рисунок 1.25 – Зависимость интенсивности износа шины  $I_i$  типоразмера 12.00.R20 от стиля вождения автомобиля: 1 - от тормозной пути; 2 - от стажа работы водителя; 3 - от числа маневров

### 1.7 АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РЕСУРС АВТОМОБИЛЬНОЙ ШИНЫ

Температура воздуха является одной из основных факторов, определяющих интенсивность износа шин. Климат в Республике Таджикистан является резко-континентальным, а смена времен года не всегда соответствует календарным срокам.

От смены времен года зависят не только метеорологические показатели внешней среды, но и дорожные условия и режим движения, обуславливающие интенсивность износа автомобильных шин. На мокрой заснеженной дороге интенсивность износа протектора автомобильной шины меньше. Первая причина тому – снижение трения между протектором и дорогой, вторая – относительно низкая скорость движения (рис. 1.26).

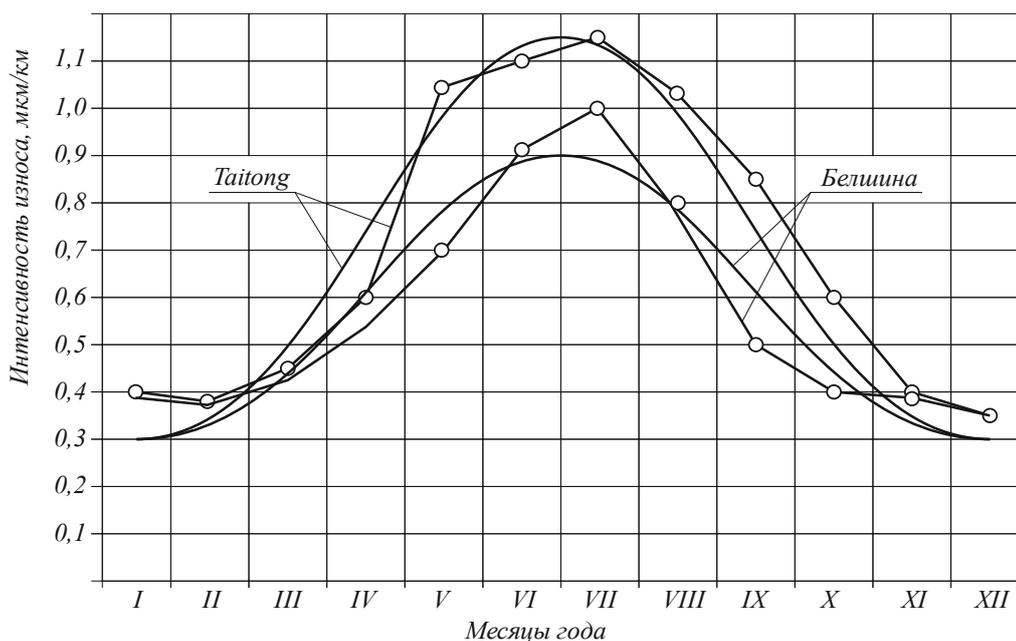


Рисунок. 1.26 – Зависимость интенсивности изнашивания рисунка протектора шины типоразмера 12.00-20 от времени года в горных условиях Республики Таджикистан.

По результатам исследований совместно с сотрудниками технологического парка ТТУ имени академика М. С. Осими установлено, что средние значения температур поверхности шины (типоразмера 18.00-25) автосамосвала БелАЗ -7540В и окружающей среды составили, соответственно, 78,6°С и 22,0°С. Температура поверхности автомобильной шины отличается от температуры воздуха на 56,6°С и способствует к снижению ресурса шин в сочетании с другими значимыми факторами.

## 1.8 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является оценка влияния элементов системы ВАДС и их сочетаний на реализацию ресурса пневматических шин автосамосвалов в горных карьерных условиях.

**Задачи исследования.** В соответствии с целью исследования в диссертационной работе решаются нижеследующие задачи:

1. Анализ классификационных характеристик элементов системы ВАДС в горных карьерных условиях.

2. Разработка математических моделей оценки влияния элементов системы ВАДС и их сочетаний на реализацию ресурса шин в горных карьерных условиях.

3. Обоснование коэффициентов корректирования для моделирования комплексной оценки влияния элементов системы ВАДС на износ и механические повреждения автомобильной шины.

4. Проведение экспериментальных исследований по установлению характера и степени влияния отдельных элементов системы ВАДС и различных их сочетаний на реализацию ресурса пневматических шин в горных карьерных условиях.

5. Обобщение достигнутых результатов теоретических и экспериментальных исследований и разработка практических рекомендаций по повышению ресурса шин карьерных автосамосвалов в горных карьерных условиях.

## 1.9 ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

1. Влияние водителя, как элемента системы ВАДС, на реализацию ресурса пневматической шины установлено на основе стиля вождения автомобилем. В результате анализа влияния стиля вождения на формирование ресурса пневматической шины в условиях горных карьеров установлено, что наилучшие показатели интенсивности износа протекторной резины соответствуют от

трехлетнего по шестнадцатилетний стаж работы водителя, достигая своего минимума к седьмому году.

2. В условиях горных карьеров автосамосвалы эксплуатируются с относительно небольшой скоростью, равной 12 ... 20 км/ч. При этом полная его масса значительно превышает норму, достигая до 11%, что способствует существенному снижению ресурса пневматической шины.

3. Наибольшее влияние на ресурс шины оказывают дорожные условия карьеров, характеризуемые: неровностью дорожного покрытия, достигаемой в горных карьерных условиях до 500 м/км; продолжительными уклонами в плане до 6%; высокой абразивностью поверхности дороги с плотностью распределения обломков горных пород до 80 шт/м<sup>2</sup> и твердостью до 10 ГПа, а также частотой маневров, более 110 ед. на 1 км пути за езду.

4. Для условий горных карьеров на высотах 1000 ... 1500 м н.у.м., где температура окружающей среды обычно варьирует в пределах от -15 до + 40 °С, а температура шины может достигать до 80 °С и выше. Сложные дорожно-климатические условия эксплуатации в горных карьерах способствуют повышению интенсивности изнашивания рисунка протектора, достигаемой летом до 1,15 мкм/км, а зимой – 0,4 мкм/км.

## 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ВАДС НА РЕСУРС АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

### 2.1 МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ К НОРМИРОВАНИЮ РЕСУРСА ШИН БОЛЬШЕГРУЗНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ САМОСВАЛОВ

До 1990 года прошлого века, с целью нормирования ресурса шин территория бывшего СССР, по уровню тяжести условий эксплуатации, была условно разбита на три зоны: регионы с легкими, средними и тяжелыми условиями. Базовый нормативный ресурс устанавливался по результатам эксплуатационных исследований автотранспортных средств для условий эксплуатации со средним уровнем сложности и принимался равным единице. Норма ресурса шин для зоны с более легкими условиями эксплуатации повышалась на 10%, а для зоны с более тяжелыми условиями снижалась на 15%. При эксплуатации автомобилей в горных дорогах нормативный ресурс их шин снижался на 20%.

Существуют различные целевые функции, в том числе для оценки и нормирования ресурса шины, где основные факторы эффективности его функционирования сгруппированы в связи с условиями работы транспортного средства, элементами решения и заранее неизвестными условиями [12, 40].

Для решения вопроса, связанного с оценкой ресурса шин автосамосвалов, эксплуатируемых в горных карьерных условиях, целевую функцию предлагается построить с учетом влияния элементов системы ВАДС на формирование его ресурса в данных условиях

$$p_n = f(\varepsilon_B, \varepsilon_A, \varepsilon_D, \varepsilon_C) = U \cdot (B_1, B_2, B_3, \dots, B_i; A_1, A_2, A_3, \dots, A_n; D_1, D_2, D_3, \dots, D_m; C_1, C_2, C_3, \dots, C_k), \quad (2.1)$$

где  $p_n$  – ресурс шин большегрузных карьерных автосамосвалов в реальных условиях эксплуатации, тыс. км;  $\varepsilon_B, \varepsilon_A, \varepsilon_D, \varepsilon_C$  – эффективности водителя, автомобиля, дороги и среды, соответственно;  $U$  – номинальное значение нормы пробега (нормы пробега, установленной заводом изготовителем для

нормальных условий эксплуатации);  $B_1$  – удельное число маневров;  $B_3$  – стиль управления автомобилем;  $B_3$  – стаж работы водителя;  $A_1$  – тип автомобиля;  $A_2$  – конструктивная особенность автомобиля;  $A_3$  – типоразмер и марка шины;  $A_4$  – давление воздуха в шине;  $A_5$  – обеспечение выполнения рекомендаций и нормативов;  $A_6$  – радиальная нагрузка;  $A_7$  – угол увода колес;  $A_8$  – нарушение технологии ТО и Р автомобилей и его агрегатов;  $A_9$  – нарушение технологии шиномонтажных работ;  $A_{10}$  – скорость движения автомобиля;  $A_{11}$  – вид погрузки;  $A_{12}$  – вид перевозимого груза;  $A_{13}$  – случайный характер внешних воздействий на колеса автомобиля;  $D_1$  – характеристика рельефа местности;  $D_2$  – тип дорожного покрытия и его состояние;  $D_3$  – характеристика профиля дороги;  $D_4$  – характеристика абразивности дорожного покрытия;  $D_5$  – характеристика состояния погрузочной площадки;  $C_1$  – температура окружающей среды;  $C_2$  – высота над уровнем моря;  $C_3$  – частота и обильность осадков;  $C_3$  – видимость дороги (туман, осадки, темное время суток) [12, 40].

Группа факторов, связанных с деятельностью водителя, характеризует взаимодействие колеса с дорогой, которые заданы и могут быть изменены в ходе определения нормативного ресурса шин (изменение частоты маневров путем передвижения по альтернативному маршруту).

Группа факторов, связанных с эффективностью автомобиля, иногда называемые элементами решения, может меняться при управлении, влияя на целевую функцию.

Дорожные условия горных карьеров заданы и не изменяются в ходе определения нормативного ресурса шин. Влияние данных факторов на реализацию ресурса шины автосамосвалов в перечисленных условиях неизвестно или недостаточно изучено [88].

Факторы окружающей среды тоже заранее неизвестны и не управляются, влияние которых на реализацию ресурса шины большегрузных автосамосвалов в перечисленных условиях тоже неизвестно или недостаточно изучено [88].

Влияние всех четырех типов факторов, участвующих в реализации ресурса шин большегрузных автосамосвалов, эксплуатируемых в горных карьерных

условиях, остаются практически не изученными. Можно лишь предположить, что в сложных, порой суровых горных условиях, где перепады высот в масштабе одного маршрута могут варьировать от 1050 до 1350м, суточные перепады температуры воздуха достигают 20 ... 30 °С, дороги насыщены поворотами, подъемами и спусками, неровностью и абразивностью дорожного покрытия, значительно превышающих норму, а также большим удельным числом различных маневров, способствующих значительной интенсивности износа протекторной резины и различным механическим повреждениям шины, снижая её ресурс.

## **2.2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ РЕАЛИЗАЦИИ РЕСУРСА ШИН АВТОСАМОСВАЛОВ В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ КАРЬЕРОВ**

### **2.2.1 СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСОМ ШИН АВТОМОБИЛЕЙ – САМОСВАЛОВ В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ КАРЬЕРОВ**

В горных карьерных условиях при разработке полезных ископаемых и строительстве ГТС шины автосамосвалов функционируют в сложных условиях при воздействии большого многообразия различных факторов. При этом на реализацию её ресурса оказывают существенное влияние все элементы системы ВАДС. Исходя из этого учитывать всего многообразия факторов является сложной задачей, связанной с оценкой ресурса пневматической шины. Поэтому, при оценке ресурса шин автосамосвалов в горных карьерах целесообразным является применение системного подхода с применением методологии структурного анализа SADT (*Structured Analysis & Design Technique*) [27].

В случае моделирования процесса реализации ресурса шин в горных карьерных условиях целесообразным считается совместное использование стандартов IDEF0 и IDEF3, а результатом применения стандартов является модель, которая состоит из диаграмм, текстов и глоссария, имеющих ссылки друг на друга [27].

Входные переменные  $x_{i(t)}$ , обусловленные условиями взаимодействия автомобильной шины с дорожным полотном и результаты функционирования автомобильной шины  $y_{i(t)}$ , представляющие собой ресурс, срок службы, долговечность или надежность шины, имеют сложную стохастическую природу.

Таким образом, для оценки и управления ресурсом шин автосамосвалов при вероятностно-статистическом характере взаимодействия между шиной и дорожным покрытием, необходимо установить законы распределения входных  $x_{i(t)}$  и выходных  $y_{i(t)}$  переменных, а также функции связи  $f(x)$ , входящие в формулы (2.1-2.4).

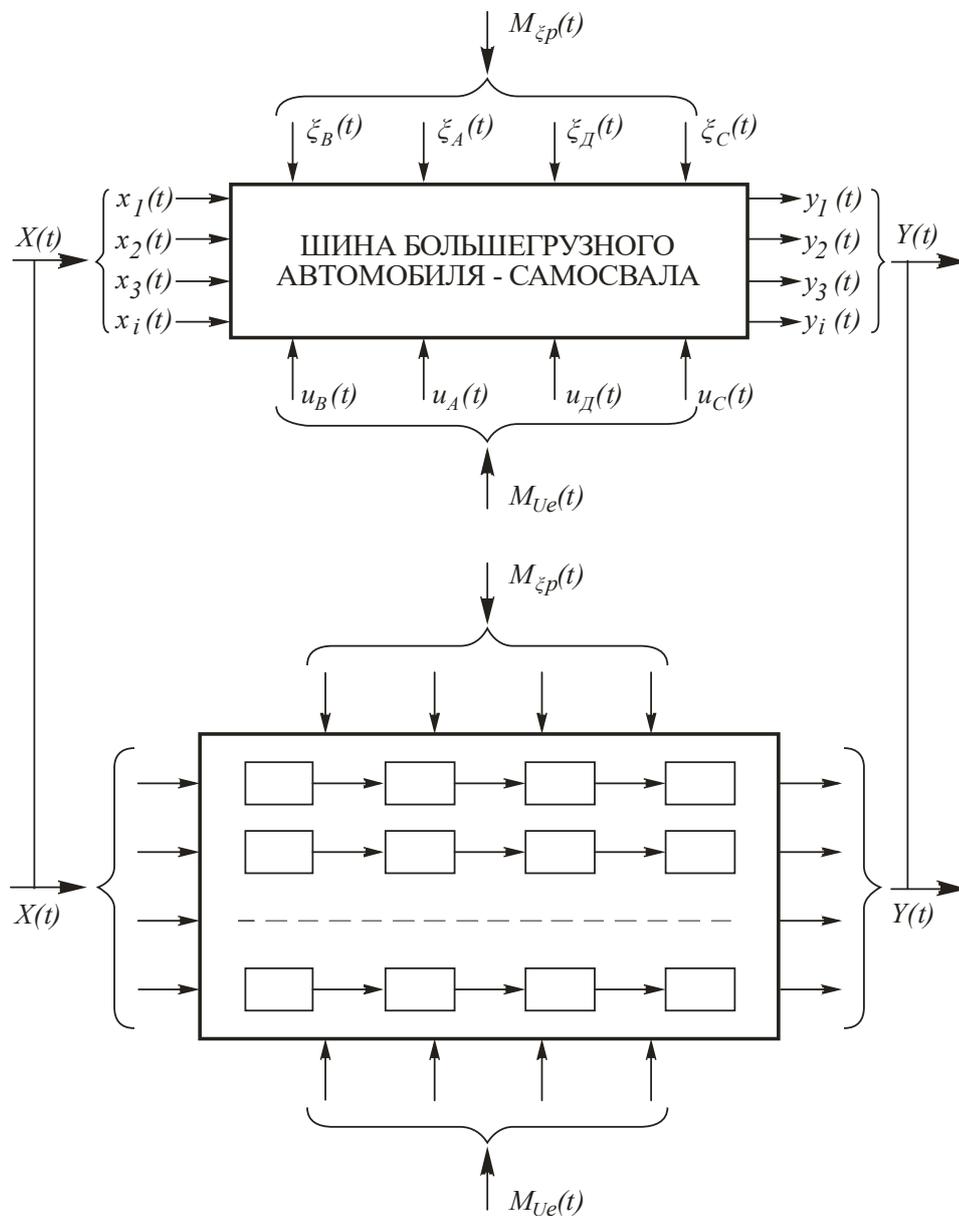


Рисунок. 2.1 – Модель оценки влиянием элементов системы ВАДС на долговечность шины в горных условиях эксплуатации

Такая постановка и формализация задачи, связанная с оценкой и управлением ресурса шин автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях горных карьеров, предполагает разработку частных моделей влияния элементов системы ВАДС на реализацию ресурса шин. При этом частные модели, как правило, представляются в виде совокупностей элементарных функций с последующим их анализа и синтеза.

В данном случае целевая функция задачи, направленной на оценку и управления ресурсом автомобильных шин, сводится к выполнению условия

$$R(t) = Y(t) - Y_0(t) \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

где  $R(t) = Y(t) - Y_0(t)$  – функция потерь ресурса шины, которая характеризует отклонение фактического значения ресурса шины от базового или номинального (установленного заводом изготовителем).

В соответствии с моделью функционирования шины под влиянием элементов системы ВАДС (рис.2.1), процессы реализации, оценки и управления ресурсом шин с учётом влияния элементов системы ВАДС тесно связаны с осуществлением следующих групп мероприятий [4]:

$M_{xi}(t)$  – мероприятия, направленные на обеспечение оптимальных условий функционирования системы ВАДС при благоприятных параметрах окружающей среды.

$M_{kj}(t)$  – мероприятия, направленные на обеспечение оптимальных конструктивных параметров и технического состояния автомобиля, а также его шины.

$M_{\xi p}(t)$  – мероприятия, направленные на снижение возмущающих воздействий, имеющих вероятностную природу и, в основном, связанную с неровностью дорожного покрытия.

$M_{ue}(t)$  – мероприятия, связанные с оптимальными режимами управления автомобилем в горных карьерных условиях.

Реализация ресурса шин в горных карьерных условиях связана взаимовлиянием элементов и подсистем большой и сложной системы ВАДС. Следовательно, для решения вопросов, связанных с реализацией и управлением

ресурса шин в горных карьерных условиях целесообразно применять SADT-моделирование.

Из определения SADT-модель вытекает, что она разрабатывается для полного и адекватного описания системы, которая имеет конкретное назначение, называемое целью модели:  $M$  является моделью системы  $S$  при условии, если  $M$  используется для получения ответов на вопросы, касающихся  $S$  с заданной точностью  $A$  [88]. Следовательно, целью модели заключается в получении ответов на некоторую совокупность вопросов, путь решения на которые должна давать модель:

1. Как обеспечить адекватную оценку реализации и эффективность управления ресурсом шины автосамосвалов в горных карьерных условиях?

Адекватная оценка реализации ресурса шин автосамосвалов в горных карьерных условиях достигается изучением конкретных условий эксплуатации, классификацией и систематизацией факторов, влияющих на реализацию ресурса шин в данных условиях, определением уровня значимости факторов, участвующих в реализации ресурса шин, применением современных методов, приборов и оборудований, использованием мультимедийного программного обеспечения, сбором, созданием, хранением и обработкой информации о ресурсах шин, реализуемых в рамках влияния системы ВАДС.

2. Какие подсистемы и элементы системы ВАДС значимо влияют на реализацию ресурса шин автосамосвалов в горных карьерных условиях?

Реализация ресурса шин автосамосвалов в горных карьерных условиях осуществляется под влиянием большого числа факторов, немногие из которых значимо влияют на интенсивность износа и частоту механических повреждений шины. В горных карьерных условиях к факторам, значимо влияющим к формированию ресурса шин автосамосвалов, относятся превышение радиальной нагрузки (до 15%), температура поверхности шины (до 80 °С и выше), обобщенный динамический коэффициент, характеризующий качество дорожного покрытия, значения которого для горных карьерных условий варьирует в пределах от 0,12 до 0,13.

3. Каковы критерии оценки эффективности элементов системы ВАДС, участвующих в реализации ресурса шин автосамосвалов в горных карьерных условиях?

Критериями оценки эффективности элементов системы ВАДС, участвующих в реализации ресурса шин автосамосвалов, являются: уровень надежности водителя, автомобиля и дороги, затраты на ее поддержание, производительность транспортных процессов, уровень обеспечения безопасности дорожного движения [88].

4. Как управлять системой ВАДС в горных карьерных условиях с целью повышения ресурса шин автосамосвалов?

Для достижения данной цели рекомендуется применять систему управления с обратной связью (рис. 2.2).

**Вопросы:**

1. Как обеспечить адекватную оценку формирования и эффективность управления ресурсом шины автомобилей-самосвалов в горных карьерных условиях?
2. Какие подсистемы и элементы системы ВАДС значимо влияют на формирование ресурса шин автомобилей-самосвалов в горных карьерных условиях?
3. Каковы критерии оценки эффективности элементов системы ВАДС, участвующих в формировании ресурса автомобилей-самосвалов в горных карьерных условиях?
4. Как управлять системой ВАДС в горных карьерных условиях с целью повышения ресурса шин автомобилей-самосвалов?

**Цель:**

Установить функции, описывающие процесс формирования ресурса шин под влиянием элементов системы ВАДС, и анализировать взаимосвязь между этими функциями для того, чтобы построить систему управления безотказности и долговечности автомобильной шины в условиях горных карьеров.

**Точка зрения:**

начальник управления наземного транспорта Министерства транспорта Республики Таджикистан

Рисунок 2.2 – Вопросы, цель и точка зрения SADT- моделирования по обеспечению адекватности оценки и эффективности системы управления ресурсом шин автосамосвалов в условиях горных карьеров

Согласно поставленным вопросам, при формировании намеченной цели, представлен первичный функциональный блок SADT-модели «Оценка и управление ресурсом автомобильной шины». (рис.2.3).



Рисунок 2.3 – Функциональный причинный блок модели «Обеспечение адекватности оценки и эффективности управления ресурсом шин автосамосвалов в условиях горных карьеров»:  $R_{ш}$  -ресурс шины;  $C_{ш}$  - эксплуатационные затраты на поддержание работоспособности шины

В качестве механизма преобразования модели выступает персонал предприятия, выходным показателем модели является оценка и управление ресурсом шин автосамосвалов в условиях горных карьеров. Детализация данного блока SADT-модели представлена на рис. 2.4. В структурной модели определены

и описаны основные взаимодействия (стрелки), которые активируют основную функцию:

1. Входными параметрами являются новые шины.
2. В качестве выхода принята модель оценки и управления ресурсом шин автосамосвалов в условиях горных карьеров.
3. Управляющим воздействием приняты нормативно-технические документы и контроль со стороны обслуживающего персонала через ТО и Р шины (контроль давления в шинах, износ протектора и т.д.).
4. Исполнительным механизмом функции принят персонал организации, связанной с эксплуатацией автомобильного транспорта (пневматической шины) в горных карьерных условиях.

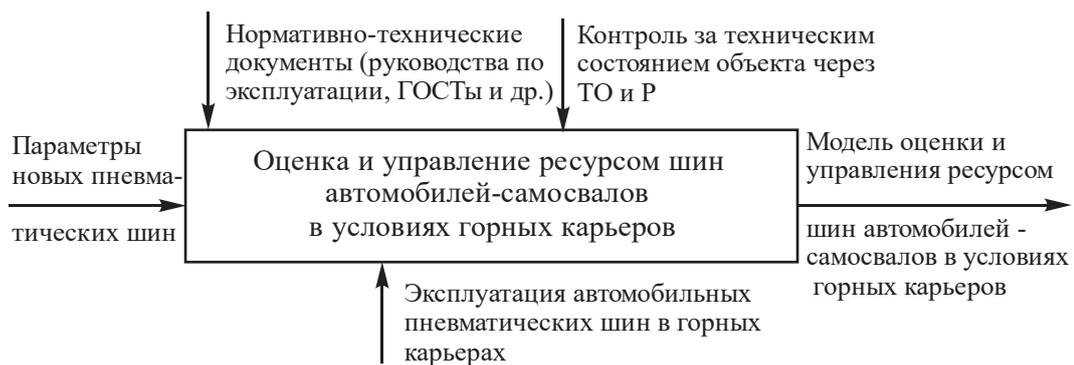


Рисунок 2.4– Структурная модель оценки и управления ресурсом шин автосамосвалов в условиях горных карьеров

В процессе обеспечения адекватности оценки и управления ресурсом шины автосамосвалов в условиях горных карьеров использованы функции, состоящие из двух блоков диаграмм: «Изучить влияние элементов системы ВАДС и их сочетаний на реализацию ресурса шин автосамосвалов в горных карьерных условиях» (позиция 1) и «Разработать и реализовать комплекс мероприятий по оценке и управлению ресурсом шин автосамосвалов в горных карьерных условиях» (позиция 2).

Реализация комплекса задач, связанных с обеспечением безотказности шин в условиях горных карьеров возложена на персонал организации. При этом целесообразным является рассматривать процессы оценки и управления ресурсом шин автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях горных карьеров, как две взаимосвязанные функции, давшие названия блокам, содержание которых представлены на рис. 2.5.

Следующим этапом SADT-модели «Оценка и управление ресурсом шины» является детализация блока «Изучить влияние элементов системы ВАДС и их сочетаний на реализацию ресурса шин автосамосвалов в горных карьерных условиях» (позиция 1 рис. 2.5), которая представлена на рис. 2.6. Детализированный блок состоит из трех взаимосвязанных блоков (позиции 3,4 и 5).

Блок «Собирать и передавать информацию» (рис.2.5, поз. 3) обеспечивает процесс управления эффективностью системы ВАДС, а также процессы оценки и управления ресурсом шин автосамосвалов в горных карьерных условиях, т.е. систематизирует информацию. Входом данного блока является коммуникационная сеть и ее элементы, а механизмом вступает оператор ПЭВМ.



Рисунок 2.5 – Обеспечение адекватности оценки и эффективности системы управления ресурсом шин автосамосвалов в условиях горных карьеров

Блок «Хранить информацию» (рис.2.6, поз. 4) есть функция хранения и выдачи информации о ресурсе шины и выдачи ее по мере необходимости. Кроме того, данный блок описывает функцию хранения накопленной информации о прошлом состоянии автомобильной шины. В данном случае в качестве инструмента функции хранения и выдачи информации выступает распределенная база данных. Хранящаяся информация, необходимая для оценки ресурса шин, не является статичной, так как данные и нормативы периодически обновляются, что видно из соответствующих выходов на диаграмме.

Реализация функции блок «Обработать информацию», представленной на рис. 2.6, поз. 5, осуществляется при помощи пакета прикладных программ. Входными переменными данного блока являются: обновленные данные, поступающие на хранение, а также прогнозы и рекомендации, необходимые для осуществления управляющего воздействия. Выход блока реализует функцию интеллектуальной поддержки принятия решения.



Рисунок 2.6 – Изучение совместного влияния технического состояния автосамосвала, качества дороги, окружающей среды и мастерства водителя на реализацию ресурса автомобильной шины в условиях горных карьеров

Декомпозиция блока «Разработать и реализовать комплекс мероприятий по оценке и управлению ресурсом шин автосамосвалов в горных карьерных условиях» (рис.2.5, поз. 2) представлена на рис. 2.7.



Рисунок 2.7 – Разработка комплекса мероприятий по обеспечению адекватности оценки и управления ресурсом шин автосамосвалов в условиях горных карьеров путем дальнейшей детализации блока

Основные подфункции или структурные блоки, оказывающие значительное влияние на реализацию ресурса шин автосамосвалов представлены на развернутой модели (рисунок 2.8) в виде декомпозиции структурной модели.

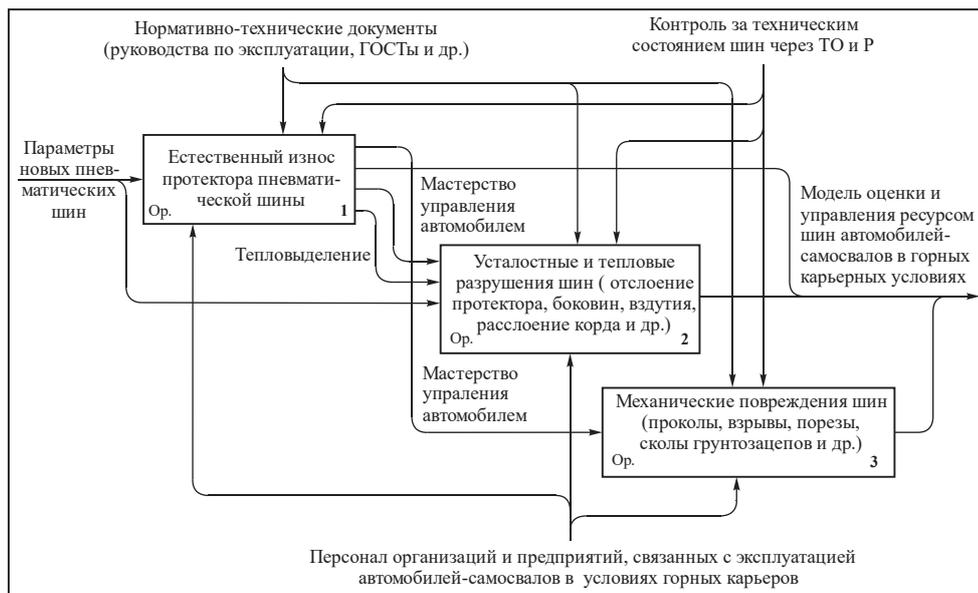


Рисунок 2.8 – Декомпозиция структурной модели «Оценка и управление ресурсом шин автосамосвалов в условиях горных карьеров»

Анализ статистических данных, полученных в результате многолетних исследований, проведённых совместно с сотрудниками технологического парка ТТУ имени академика М. С. Осими, при содействии инженерно-технического персонала ДАО «Основное строительство» ОАО «Рогунской ГЭС» о реализации ресурса шин автосамосвалов в условиях горных карьеров и учитывающие основные подгруппы причин их списания, представлен на рисунке 2.9.

Шины автосамосвалов в горных карьерных условиях работают в тяжёлых условиях, обусловленных, в частности, тепловым состоянием шины, зависимость которого от эксплуатационных факторов представлена на рисунке 2.10.

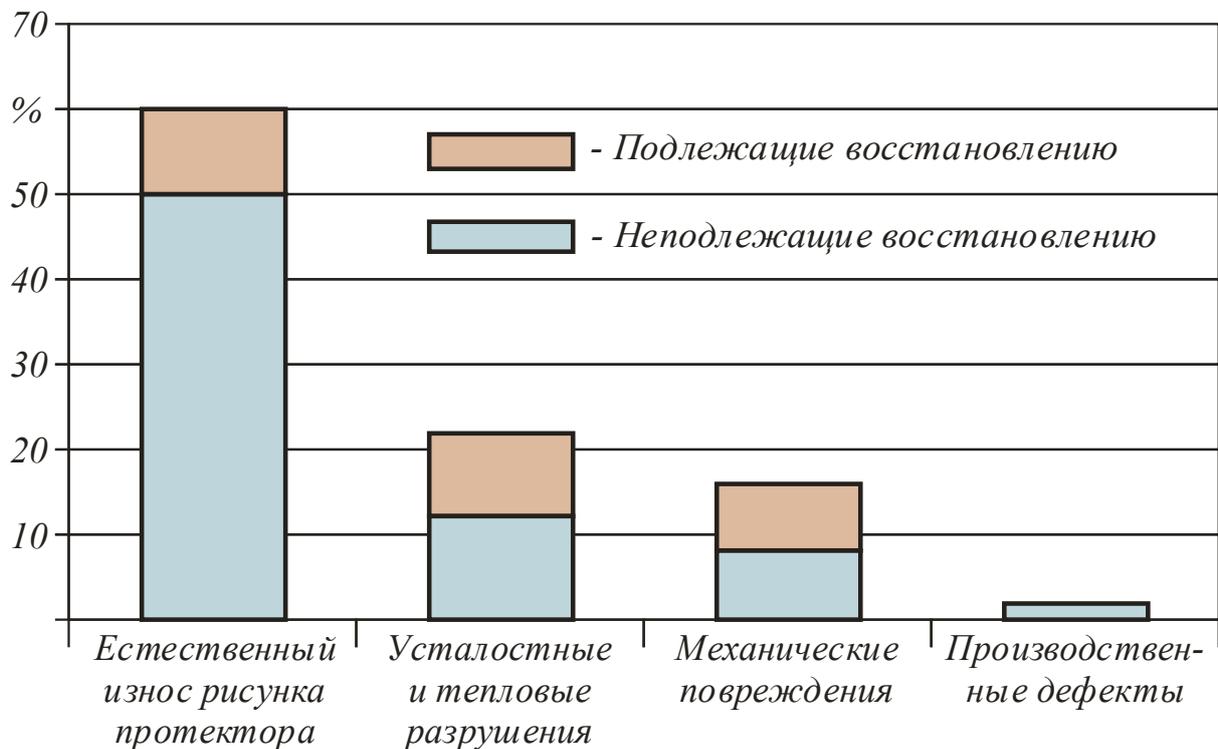


Рисунок 2.9 – Распределение причин снятия с эксплуатации шин автосамосвалов в горных карьерных условиях

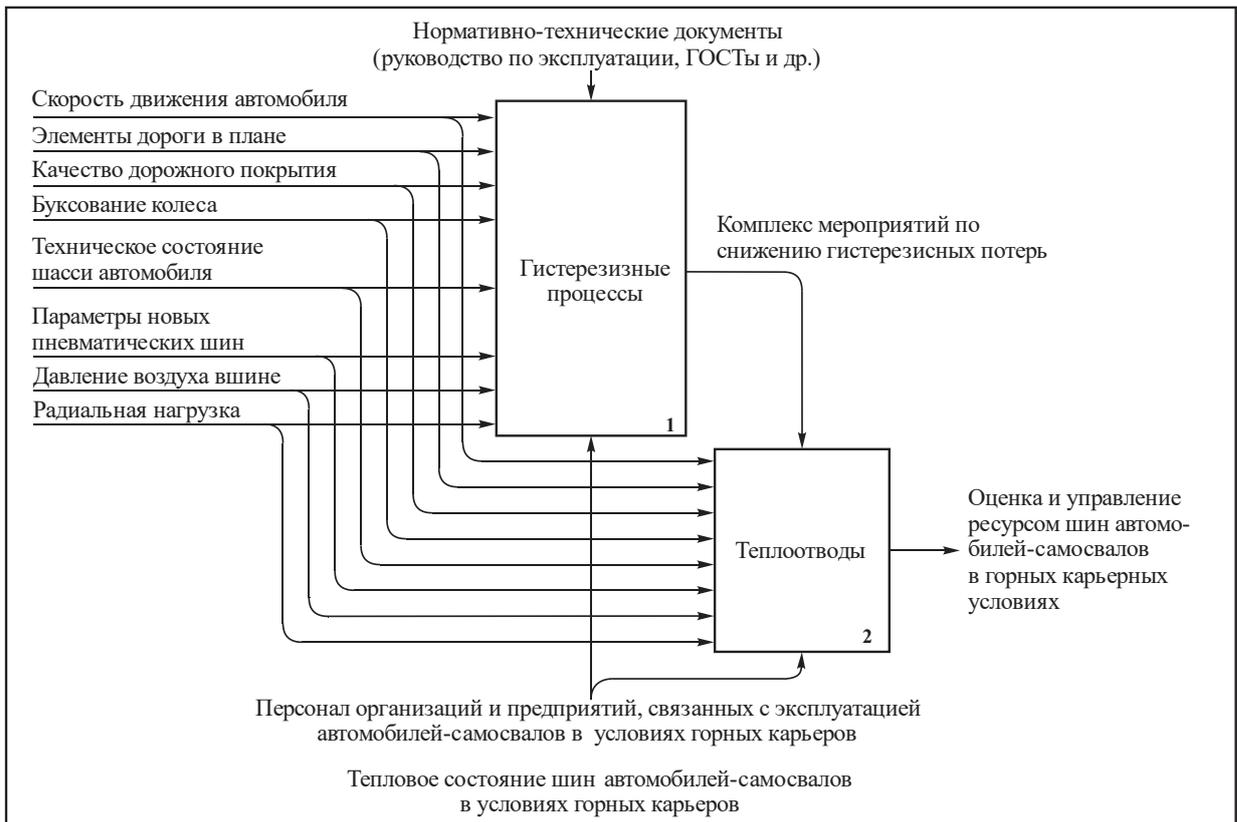


Рисунок 2.10 – Декомпозиция диаграммы уровня структурной модели «Тепловое состояние шины»

На основе анализа принципов функционирования SADT-модели можно сделать вывод о том, что они наилучшим образом отвечают требованиям, предъявляемым к структурным моделям, описывающим процессы грузоперевозок автомобильным транспортом. В процессе структурного моделирования функционирования системы возникают ряд вопросов, связанных с определением границ системы (табл. 2.1), выявлением перечня необходимых элементов и установлением их функциональных зависимостей, которые могут быть решены при SADT-моделировании.

Моделируемая система должна состоять из ограниченного числа подсистем, оказывающих значимое влияние на формирование ресурса шины в условиях горных карьеров.

Разработанная модель оценки и управления ресурсом шин автосамосвалов в горных карьерных условиях, описывая производственный процесс

грузоперевозок, устанавливает функции, входящие в процесс оценки и управления ресурсом шин и позволяет оценить принципы взаимной связи между этими функциями.

Таким образом, созданная методика на основе SADT-моделирования позволяют адекватно оценить и управлять ресурсом шин автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях горных карьеров.

Таблица 2.1 – Границы варьирования параметров системы ВАДС при транспортировании гравия в горных карьерных условиях при строительстве ГТС

Элементы системы и параметры, характеризующие ее границы	Единица измерения	Пределы изменения	Примечания
<p>Водитель:</p> <p>- стаж работы</p> <p>- удельное число маневров</p>	<p>лет</p> <p>шт/км</p>	<p>до 25 лет</p> <p>105-115</p>	<p>в горных условиях строительства ГТС</p> <p>в горных карьерах разработки полезных ископаемых и строительства ГТС</p>
<p>Автомобиль:</p> <p>- полная масса автомобиля</p> <p>- БелА37540В</p> <p>- SHACMANSX3258DR384</p> <p>-средняя скорость движения, <math>V_{ср}</math></p> <p>- БелА37540В</p> <p>- SHACMANSX3258DR384</p> <p>-срок службы автомобиля</p>	<p>т</p> <p>т</p> <p>км/ч</p> <p>км/ч</p> <p>лет</p> <p>%</p>	<p>45 ... 59</p> <p>33... 45</p> <p>12...20</p> <p>15...25</p> <p>6...8</p> <p>2...6</p>	<p>при плотности грунта <math>\gamma_r = 1,2 \dots 1,3 \text{ т/м}^3</math></p> <p>в карьерных дорогах разработки полезных ископаемых и строительства ГТС</p> <p>в карьерных дорогах разработки полезных</p>

-буксование колеса автомобиля			ископаемых и строительства ГТС
Дорога: - обобщенный динамический коэффициент дороги, $k_D$ - засоренность поверхности дорожного полотна обломками горных пород	%	12,0 ... 3,0	в карьерных дорогах разработки полезных ископаемых и строительства ГТС
	шт/м <sup>2</sup>	70... 90	в карьерных дорогах разработки полезных ископаемых и строительства ГТС
Среда: - высота над уровнем моря	м	1050...1350	в карьерных дорогах разработки полезных ископаемых и строительства ГТС
- температура воздуха	°C	- 15 ... + 40	на высотах 1050 ... 1350 м н.у.м.

### 2.3 ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМ ШИН АВТОСАМОСВАЛОВ ПО МЕХАНИЧЕСКИМ ПОВРЕЖДЕНИЯМ В ГОРНЫХ КАРЬЕРНЫХ УСЛОВИЯХ

Установлено, что для шин автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях горных карьеров, снятие их с эксплуатации по причине механических повреждений составляет до 20%, что значительно превышает показатели, относящиеся к равнинным условиям эксплуатации. Механические повреждения шин автосамосвалов в условиях горных карьеров в значительной степени зависят времен года, которые имеют четкие границы для данных условий. Для оценки реализации ресурса шин в зависимости от времен года считается целесообразным пользоваться методом однофакторного анализа [27].

Средние арифметические значения ресурсов шин автосамосвалов в условиях горных карьеров находится из выражения

$$\bar{x}_k = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} x_{ik}, \quad (2.2)$$

где  $m$  – число выборок;  $n_k$  – число данных в  $k$  – выборке.

Среднее значение генеральной выборки определяется из выражения

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} x_{ik}, \quad \text{где } n = \sum_{k=1}^m n_k. \quad (2.3)$$

Основное тождество дисперсионного анализа выражается в виде суммы

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (2.4)$$

где  $Q_1$  – сумма квадратов отклонений между группами;  $Q_2$  – сумма квадратов внутри групп;  $Q$  – общая сумма квадратов отклонений наблюдаемых значений  $x_{ik}$  от общего среднего  $\bar{x}$ .

Суммы квадратов отклонений определяются из выражений:

$$Q = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} (x_{ik} - \bar{x})^2 = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} x_{ik}^2 - n \bar{x}^2 \quad (2.5)$$

$$Q_1 = \sum_{k=1}^m n_k (\bar{x}_k - \bar{x})^2 = \sum_{k=1}^m n_k \bar{x}_k^2 - n \bar{x}^2 \quad (2.6)$$

$$Q = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} (x_{ik} - \bar{x}_k)^2 = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} x_{ik}^2 - \sum_{k=1}^m n_k \bar{x}_k^2 \quad (2.7)$$

Значимость влияния времен года на реализацию ресурса шин, с учетом их отказов по причине механических повреждений, проверяется по критерию Фишера

$$F = \frac{Q_1 / (m - 1)}{Q_2 / (n - m)}$$

$$F = 6,2 > 2,3. \quad (2.8)$$

В результате сравнения, можно сделать вывод о значимости влияния времен года на процесс реализации ресурса шин по причине механических повреждений. На рисунках 2.11(а и б) представлены данные по отказам шин автосамосвалов в зависимости от времен года, а также законы распределения, построенные на основе программы Statistica 6.0.

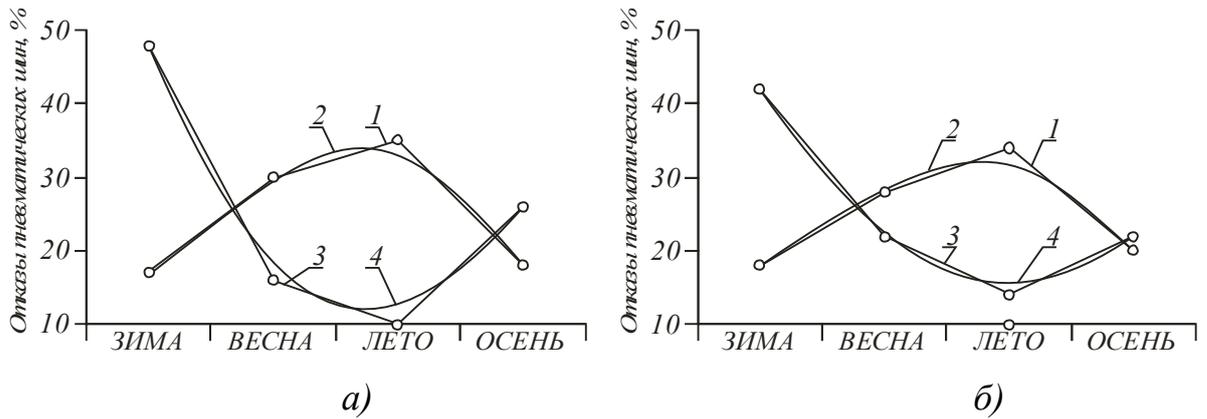


Рисунок. 2.11 – Распределение отказов шин типоразмеров 10.00.R20 (а) и 18.00-25 (б), эксплуатируемых в горных карьерных условиях по временам года: 1 и 2 соответственно, опытные и теоретические распределения отказов шин по причине естественного износа протектора; 3 и 4 соответственно, опытные и теоретические распределения отказов шин по причине механического повреждения шины

#### 2.4. ОЦЕНКА РЕСУРСА ШИНЫ АВТОСАМОСВАЛА ПО ФИЗИЧЕСКОМУ ИЗНОСУ ПРОТЕКТОРА В УСЛОВИЯ ГОРНЫХ КАРЬЕРОВ

Согласно энергетической теории износа шин, для оценки реализации ее ресурса по причине износа протектора пользуются методом баланса мощностей, суть которого заключается в описании энергообменных процессов при качении колеса автомобиля. Энергетические потери на качение колеса включает потери гистерезисные потери и потери на трение, что хорошо согласуется с разработанной SADT-моделью «Тепловое состояние шины» (рис. 2.10)

$$N_{\Pi} = N_{\text{густ}} + N_{\text{тр}}, \text{кВт}. \quad (2.9)$$

Мощность гистерезисных потерь определяется из выражения

$$N_{\text{густ}} = \sigma A_{\text{но}} T_{\text{ш}}, \text{кВт} \quad (2.10)$$

где  $\sigma$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>°С);  $A_{\text{но}}$  – площадь отвода теплоты от поверхности шины;  $T_{\text{ш}}$  – температура шины, °С.

Согласно выражению (2.9), мощность, расходуемая на трение шины о дорожное покрытие, с учетом выражения (2.10) равняется

$$N_{mp} = N_{II} - \sigma A_{no} T_{ш}, \text{ кВт.} \quad (2.11)$$

Работа силы трения определяется из выражения

$$A_{mp} = F_{mp} S, \text{ Дж} \quad (2.12)$$

где  $F_{mp}$  – сила трения колеса о поверхности дороги, Н;  $S$  – путь, пройденный колесом, м.

Физический износ протекторной резины можно определить из выражения

$$I = \alpha A_{mp}, \text{ мм} \quad (2.13)$$

где  $\alpha$  – удельная интенсивность износа протекторной резины, отнесенная на единицу работы, мм/Дж.

Пользуясь выражениями (2.11) и (2.12), после преобразования получим

$$I = \alpha \frac{N_n - \sigma A_{по} T_{ш}}{v} S, \text{ мм} \quad (2.14)$$

С учетом КПД качения колеса автомобиля, полную мощность энергетических потерь можно выразить уравнением

$$N_{II} = f N_{омс} / \eta = f N_{омс} / (1-f), \quad (2.15)$$

где  $f$  – коэффициент качения колеса;  $\eta = 1 - f$  – КПД качения колеса автомобиля;  $N_{омс}$  – отводимая, т.е. отдаваемая автомобилю самосвалу мощность, кВт.

Мощность, отдаваемая автомобилю самосвалу колесом, определяется из выражения

$$N_{омс} = V_a (R_x^2 + R_y^2), \quad (2.16)$$

где  $V_a$  – скорость движения автомобиля, м/с;  $R_x$  и  $R_y$  – продольная и боковая реакции в точке контакта шины с дорожным полотном, Н.

С учетом приведенных выражений формулу для определения физического износа протектора шины можно выразить следующим образом

$$I_i = \alpha \left( \frac{f \sqrt{R_x^2 + R_y^2}}{(1-f)} - \frac{\sigma A_{по} t_{ш}}{V_a} \right) S_i, \text{ мм} \quad (2.17)$$

где  $\alpha$  – износ протекторной резины, отнесенный к единице работы трения, мм/(Н·м);  $f$  – коэффициент сопротивления качению шины;  $\sigma$  – коэффициент теплоотдачи шины, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $A_{по}$  – площадь поверхности теплоотвода от шины,

$m^2$ ;  $t_{ш}$  – температура поверхности шины, °C;  $S_i$  – путь, пройденная на  $i$ -ом участке маршрута, м.

## 2.5 МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА РЕАЛИЗАЦИЮ РЕСУРСА ШИНЫ

Для моделирования влияния радиальной нагрузки на реализацию ресурса шины в условиях горных карьеров предлагаются безразмерные коэффициенты, учитывающие влияние автомобиля (радиальная нагрузка на шину), дороги (неровность, уклоны и абразивность дороги) и среды (климатические факторы).

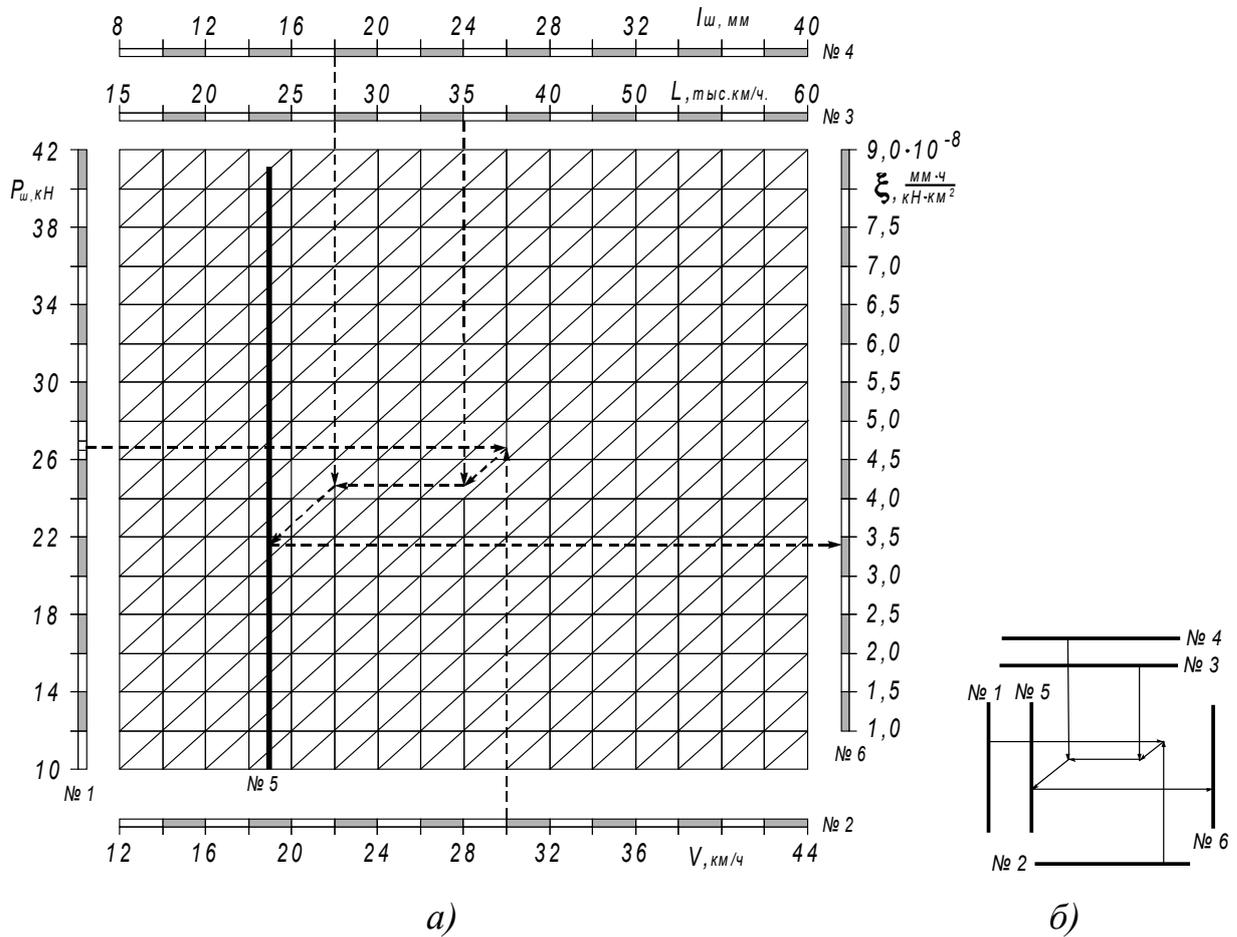
Очевидно, что при оценке износа протектора автомобильной шины невозможно учитывать влияние каждого фактора в отдельности. Тем не менее, для этой цели в качестве наиболее важных факторов, определяющих износ автомобильной шины, можно выделить вертикальную нагрузку, скорость движения автомобиля и пробег автомобильной шины. Тогда упрощенная математическая модель для оценки износа протектора автомобильной шины  $I_{ш}$  можно выразить следующим образом:

$$I_{ш} = P \cdot V \cdot L \cdot \xi \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3, \text{ мм} \quad (2.18)$$

где  $P$  – среднее значение вертикальной нагрузки, действующей на отдельную шину, Н;  $V$  – скорость движения автомобиля, км/ч;  $L$  – пробег шины, км;  $\xi$  – переводный коэффициент, мм·ч/(кН·км<sup>2</sup>);  $k_1, k_2, k_3$ , безразмерные коэффициенты, учитывающие влияния, соответственно, радиальной нагрузки, скорости движения автомобиля и дорожно-климатических факторов на интенсивность износа шины.

Числовое значение переводного коэффициента  $\xi$  зависит от среднего значения вертикальной нагрузки, действующей на отдельную шину  $P_{ш}$ , нормативного срока службы автомобильной шины до предельного износа рисунка протектора  $L_n$  и скорости движения автомобиля  $V$ .

Для определения значения переводного коэффициента  $\xi$ , необходимого для расчета износа автомобильной шины типоразмера 12.00.R20, представлена номограмма (рис. 2.12, а) и схема пользования номограммой (рис. 2.12, б).



Риснок.2.12 – Номограмма (а) для расчета коэффициента приведения  $\xi$  для определения износа автомобильной шины типоразмера 12.00.R20 и схема (б) пользования номограммой

Среднее значение вертикальной нагрузки, действующей на отдельную шину  $P_{ш}$  определяется из выражения

$$P_{ш} = \frac{\Sigma P}{n_k} \cdot \eta, \text{ кН} \quad (2.19)$$

где  $\Sigma P$  – суммарное значение радиальной нагрузки на шину, Н;  $\eta$  – коэффициент распределения веса автомобиля по осям, %;  $n_k$  – число колес автомобиля на каждой оси автомобиля, шт.

Суммарное значение вертикальной нагрузки  $\Sigma P$ , передаваемой от автосамосвалов, цементовозов, бензовозов и тому подобных грузовых автомобилей к дорожному полотну можно определить из выражения:

$$\Sigma P = (m_c + \frac{m_r}{2})g \cdot \eta, \text{ кН} \quad (2.20)$$

где  $m_c$  – полная снаряженная масса автомобиля, кг;  $m_r$  – масса груза, кг;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

Значения безразмерных коэффициентов получены в зависимости от скоростных и нагрузочных режимов для конкретных дорожно-климатических условий горных карьеров и установлено, что они могут варьировать в достаточно широких пределах.

На основе результатов многолетних исследований, проведенных сотрудниками кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» в тесном сотрудничестве с Технологическим парком Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими, были установлены следующие значения безразмерных коэффициентов, соответствующих для сложных, порой суровых горных условий эксплуатации автомобилей:  $k_1 = 1,10 \dots 1,15$ ;  $k_2 = 1,25 \dots 1,35$  и  $k_3 = 1,20 \dots 1,30$ .

Оценка влияния радиальной нагрузки на реализацию ресурса шин автосамосвалов производится по выражению

$$L = c + \frac{d}{G}, \quad (2.21)$$

где  $c$  и  $d$  – параметры модели шины автосамосвала;  $G$  – радиальная нагрузка на шину, т.

Радиальная нагрузка на шину определяется из выражения

$$G = \frac{G_o + q \cdot \gamma \cdot \beta}{n_k}, \quad (2.22)$$

где  $G_o$  – снаряженная масса автомобиля, т;  $q$  – грузоподъемность автомобиля, т;  $\gamma$  – коэффициент использования грузоподъемности;  $\beta$  – коэффициент пройденной пути с грузом;  $n_k$  – число колес автомобиля, шт.

Из последних уравнений получим

$$L = c + \frac{d \cdot n_u}{G_o + q \cdot \gamma \cdot \beta} \quad (2.23)$$

Обозначая  $h = d \cdot n_u$ , последнее выражение перепишем в виде

$$L = c + \frac{h}{G_o + q \cdot \gamma \cdot \beta}, \quad (2.24)$$

здесь  $h$ - параметр модели шины.

На рис. 2.13 представлены графики влияния радиальной нагрузки на ресурс шины 12.00.R20 и 18.00-25, построенные на основе уравнения (2.23).

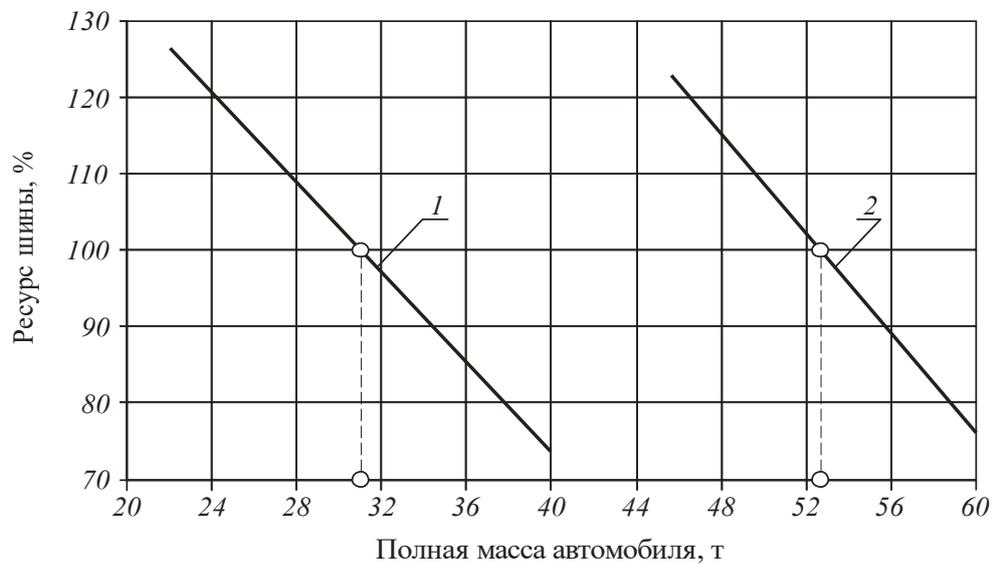


Рисунок 2.13 – Графики зависимости ресурса шины от полной массы автомобиля

Адекватность полученных графиков установлены на основе статистической обработки опытных данных по ресурсу шин автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях горных карьеров и на основе анализа статистических данных обоснованы реальные ресурсы в данных условиях.

## 2.6 Моделирование влияния температуры на интенсивность износа шин

Республика Таджикистан - страна со среднегодовой температурой, равной  $+5,4^{\circ}\text{C}$ . При этом среднегодовая температура поверхности шины большегрузных

самосвала, эксплуатируемого в горных карьерных условиях превышает  $45^{\circ}\text{C}$ . Следовательно, влияние температуры среды на реализацию ресурса шин является значимым фактором. Кроме этого, на износ шины оказывают существенное влияние частота и виды осадков.

Средние значения температуры поверхности шины типоразмера 18.00-25, монтируемой на автомобилях БелАЗ -7540В, а также параметры окружающей среды в горных карьерных условиях приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2. – Результаты среднего значения температур поверхности шин типоразмера 18.00-25, монтируемой на автомобилях БелАЗ -7540В, а также параметры окружающей среды в горных карьерных условиях.

Показатель	Среднее значения
Температура поверхности шины, $^{\circ}\text{C}$	78,6
Температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$	22,0
Разница между температурами воздуха и шины, $^{\circ}\text{C}$	56,6
Относительная влажность воздуха, %	40
Атмосферное давления, мм.рт.ст.	660

По результатам анализа экспериментальных данных найдены соотношения параметров между интенсивностью изнашивания протекторной резины и температурой воздуха (табл.2.3).,

Таблица 2.3 – Параметры интенсивности изнашивания протектора шины [96]

Показатель	Числовые значения						
	-25	-15	-5	5	15	25	35
Температура воздуха, $t$ в $^{\circ}\text{C}$							
Относительная интенсивность износа шины, $R(x)$ в %	30	12	3	4	36	90	152

Установлены экспериментальные и теоретические зависимости относительной интенсивности изнашивания протекторной резины шин типоразмеров 12.00R20 температуры окружающего воздуха в горных карьерных условиях при строительстве ГЭС. График зависимости относительной интенсивности изнашивания шин автосамосвалов от температуры воздуха представлена на рис.2.14. [92].

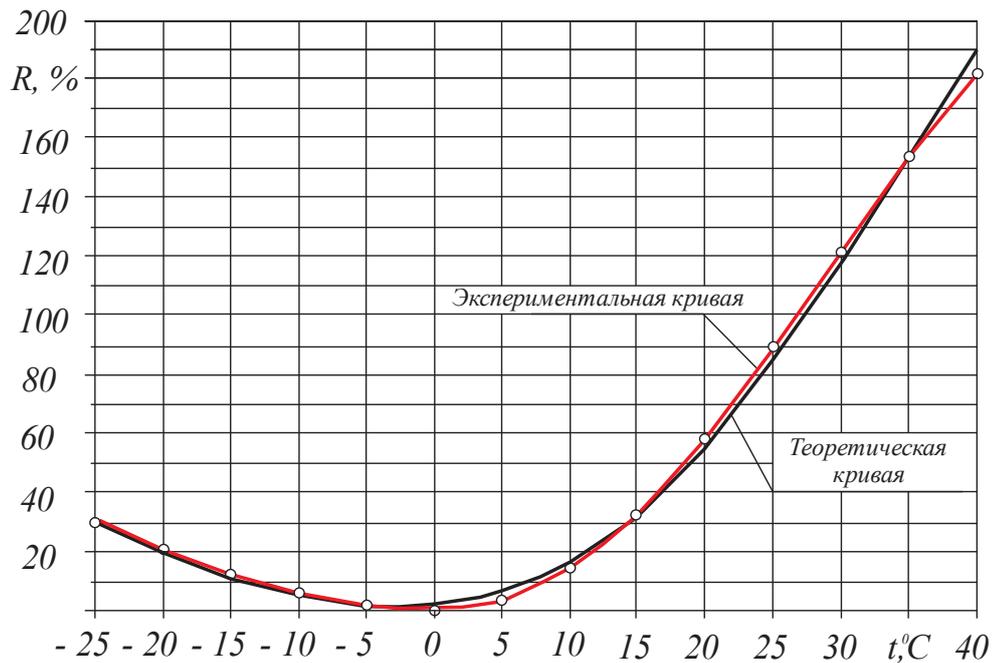


Рисунок 2.14 – График зависимости относительной интенсивности изнашивания шин автосамосвалов от температуры воздуха [96].

По результатам экспериментальных исследований разработана эмпирическая зависимость в виде интерполяционного многочлена Лагранжа для шин типоразмеров 12.00R20 и 18.00-25, монтируемых на автосамосвалах при строительстве Рогунской ГЭС [101].

$$R(x) = 0,0005t^3 + 0,0825t^2 + 0,0737t + 4,6875, \quad (2.25)$$

где  $t$  – температура окружающей среды,  $^\circ\text{C}$  .

Относительная интенсивность изнашивания шины определялась как отношение интенсивности изнашивания шины при измеренной температуре окружающей среды к ее значению при температуре равной нулю и принятой за эталон

$$R(x) = \frac{I(x)}{I_b(x)} \cdot 100\%, \quad (2.26)$$

где  $I_b(x)$  – интенсивности износа автомобильной шины при нулевой температуре окружающей среды, принятого за эталон, мм/(1000 км) [101].

## **2.7 Энергетический подход при моделировании интенсивности износа пневматической шины**

Процесс изнашивания рисунка протектора шины более адекватно можно моделировать с использованием энергетического подхода, замысел которого связан с уточнением оценки интенсивности истирания протекторной резины путем использования различных единиц измерения наработки автомобиля для конкретных эксплуатационных условий.

Интенсивности изнашивания рисунка протектора автомобильной шины определяются из следующих выражений:

– линейная интенсивность изнашивания

$$I_h = h / L, \quad (2.27)$$

где  $h$  – линейный износ рисунка протектора автомобильной шины, мм;  $L$  – путь, пройденный автомобилем между измерениями износа рисунка протектора автомобильной шины: обычно принимают  $L=1000$  км.

– массовая интенсивность изнашивания

$$I_m = m / L, \quad (2.28)$$

где  $m$  – массовый износ рисунка протектора автомобильной шины, г.

– объемная интенсивность изнашивания

$$I_V = V / L, \quad (2.29)$$

где  $V$  – объемный износ рисунка протектора автомобильной шины, мм<sup>3</sup>.

Удельная интенсивность изнашивания рисунка протектора автомобильной шины, выраженная как единица износа, отнесенная к крутящему моменту, определяется из отношения интенсивности износа к тяговому усилию автомобиля

$$j_{eM} = \frac{I}{F_T \cdot \eta_{ни}}, \quad (2.30)$$

где  $I$  – интенсивность износа шины, выраженная в единицах износа, ед. изн.;  $F_T$  – тяговое усилие автомобиля, кН;  $\eta_{ни}$  – коэффициент недоиспользования полного тягового усилия автомобиля. Он же может быть использован в качестве коэффициентов недоиспользования полной эффективной мощности двигателя или тяговой мощности автомобиля. Значения данного коэффициента для различных условий эксплуатации может варьировать в довольно широких пределах. Для горных карьерных условий Республики Таджикистан при строительстве ГТС  $\eta_{ни} = 0,65 \dots 0,75$ .

Удельная интенсивность изнашивания рисунка протектора автомобильной шины, выраженная как единица износа, отнесенная к единице выполненной работы или затраченной энергии в процессе взаимодействия колеса автомобиля с дорожным покрытием, может быть определена умножением показателя и знаменателя дроби в формуле (2.31) на скорость движения автомобиля  $V_a$

$$j_e = \frac{I \cdot V_a}{F_T \cdot \eta_{ни} \cdot V_a} = \frac{I \cdot V_a}{N_T \cdot \eta_{ни}} = \frac{I \cdot V_a}{N_e \cdot \eta_{ни} \cdot \eta_{мп}}, \quad (2.31)$$

где  $N_T = N_e \cdot \eta_{мп}$  – тяговая мощность автомобиля, кВт;  $N_e$  – эффективная мощность автомобиля, кВт;  $\eta_{мп}$  – КПД трансмиссии.

В последней формуле, выражая  $I \cdot V_a = I_q$ , получим формулу для определения удельного эффективного износа рисунка протектора шины по подобию удельного эффективного расхода топлива двигателя внутреннего сгорания, т.е.

$$j_e = \frac{I \cdot V_a}{N_e \cdot \eta_{ни} \cdot \eta_{мп}} = \frac{I_q}{N_e \cdot \eta_{ни} \cdot \eta_{мп}} = \frac{I_q}{N_T \cdot \eta_{ни}}, \quad (2.32)$$

где  $I_q$  – часовая интенсивность изнашивания (расход) рисунка протектора шины, выраженная в единицах износа за время эксплуатации, ед. изн. /1000 ч.

Если, в общем случае, удельная интенсивность изнашивания рисунка протектора автомобильной шины определять из выражения (2.32), то, в частности, линейный, массовая и объемная интенсивности изнашивания рисунка протектора определяются из следующих выражений:

– удельная линейная интенсивность изнашивания рисунка протектора определяется из отношения

$$j_{eh} = \frac{I_h \cdot V_a}{N_e \cdot \eta_{ни} \cdot \eta_{mp}} = \frac{I_{qh}}{N_e \cdot \eta_{ни} \cdot \eta_{mp}} = \frac{I_{qh}}{N_T \cdot \eta_{ни}}, \quad (2.33)$$

где  $I_{qh}$  – часовая линейная интенсивность изнашивания рисунка протектора шины, выраженная в единицах длины за пробег шины, мм/1000 ч.

– удельная массовая интенсивность изнашивания рисунка протектора шины определяется из отношения

$$j_{em} = \frac{I_m \cdot V_a}{N_e \cdot \eta_{ни} \cdot \eta_{mp}} = \frac{I_{qm}}{N_e \cdot \eta_{ни} \cdot \eta_{mp}} = \frac{I_{qm}}{N_T \cdot \eta_{ни}}, \quad (2.34)$$

где  $I_{qm}$  – часовая массовая интенсивность изнашивания рисунка протектора шины, выраженная в единицах массы за время эксплуатации, г/1000 ч.

– удельная объемная интенсивность изнашивания рисунка протектора шины определяется по формуле

$$j_{eV} = \frac{I_V \cdot V_a}{N_e \cdot \eta_{ни} \cdot \eta_{mp}} = \frac{I_{qV}}{N_e \cdot \eta_{ни} \cdot \eta_{mp}} = \frac{I_{qV}}{N_T \cdot \eta_{ни}}, \quad (2.35)$$

где  $I_{qV}$  – часовая объемная интенсивность изнашивания рисунка протектора шины, выраженная в единицах объема за время эксплуатации, мм<sup>3</sup>/1000 ч.

Перечисленные способы определения удельной интенсивности износа протектора шины не лишены практического значения. Однако, наиболее удобным и практичным из них является способ, выраженный через линейную интенсивность её изнашивания  $I_h$ .

Применительно к грузовым автомобилям удельную интенсивность износа рисунка протектора пневматической шины можно выразить как отношение

линейной интенсивности изнашивания к объему перевозок или грузообороту, т.е.

$$j_{m_2} = \frac{I_h}{m_2} = \frac{h/L}{m_2} = \frac{h}{m_2 \cdot L}, \quad (2.36)$$

где  $m_2$  – масса перевозимого груза, т.

Удельная линейная интенсивность изнашивания рисунка протектора автомобильной шины также может быть определена по формуле

$$j_{mg} = \frac{I_h \cdot V}{G_T} = \frac{I_h \cdot V}{10^3 \cdot N_e \cdot \eta_{ни} \cdot g_e} = \frac{I_h \cdot V \cdot \eta_{мп}}{10^3 \cdot N_T \cdot \eta_{ни} \cdot g_e}, \quad (2.37)$$

где  $G_T$  – часовой расход топлива, кг/ч.;  $g_e$  – удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч).

Кроме того, удельная линейная интенсивность изнашивания рисунка протектора автомобильной шины на единицу массы перевозимого груза  $m_2$  определяется по формуле

$$j_{mW} = \frac{I_h \cdot V}{W}, \quad (2.38)$$

где  $W$  – часовая производительность автомобиля, т/ч.

## 2.8 МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ВАДС НА ИЗНОС И ПОВРЕЖДЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ШИНЫ

Для оценки ресурса шин автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях горных карьеров, предлагается математическая модель с учетом относительной значимости элементов системы ВАДС в процессе формирования нормы пробега шины

$$R_p = (k_B \cdot k_A \cdot k_D \cdot k_C) \cdot \xi \cdot R_n = k_{ВАДС} \cdot \xi \cdot R_n, \quad (2.39)$$

где  $R_p$  и  $R_n$  – соответственно, оцениваемый и номинальный ресурсы шин автосамосвалов, тыс. км;  $k_B, k_A, k_D, k_C$  – соответственно, коэффициенты корректирования, учитывающие влияния элементов системы ВАДС на формирование ресурса шин автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях горных карьеров, устанавливаемых на основе экспериментальных исследований,

тыс. км;  $k_{\text{ВАДС}}$  – комплексный коэффициент влияния эффективности функционирования системы ВАДС на ресурс пневматической шины;  $\xi$  – коэффициент компенсации ресурса шины, учитывающий снижение эффективности функционирования системы ВАДС в условиях горных карьеров.

В зависимости от сложности условий эксплуатации в горных карьерах значение коэффициента может варьировать в пределах от 1,6 до 2,0. При идеальном стечении обстоятельств (идеальных эксплуатационных условиях)  $\xi = 1$ . Идеальные эксплуатационные условия характеризуются равенством единице комплексного коэффициента влияния эффективности функционирования системы ВАДС на ресурс пневматической шины  $k_{\text{ВАДС}} = 1$ , что может быть достигнуто при  $k_B = k_A = k_D = k_C = 1$ .

На основании результатов многолетних наблюдений построены круглограммы влияния элементов системы ВАДС (рис 2. 15, а и б) на ресурс шины типоразмеров 18.00-25 (а) и 12.00R20 (б)

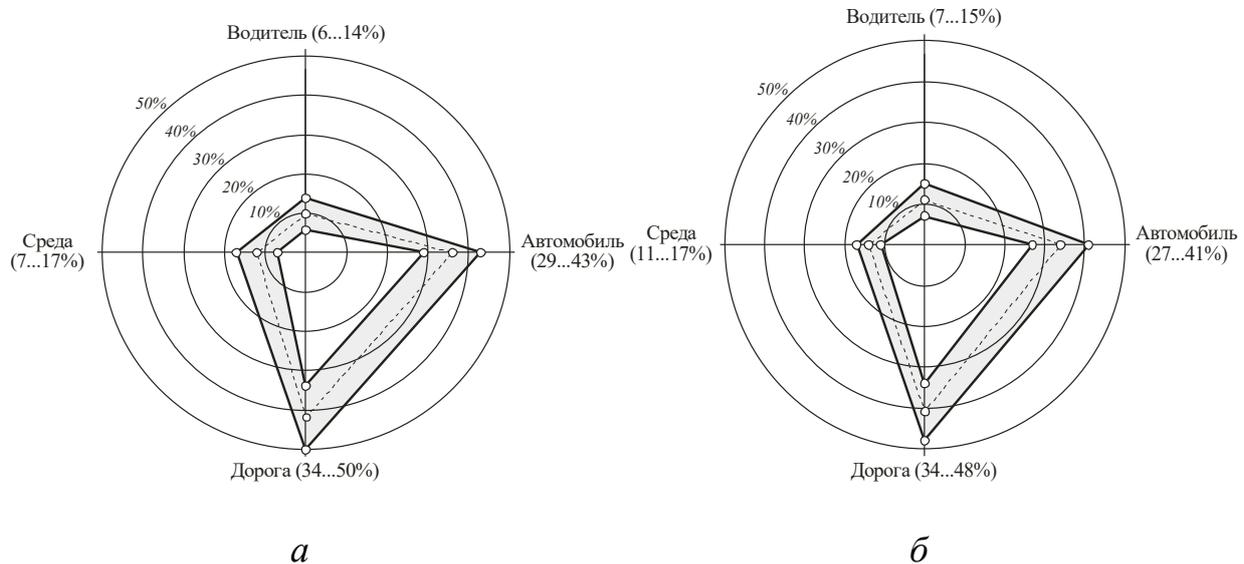


Рис. 2.15. Круглограммы влияния элементов системы ВАДС на ресурс шины типоразмеров 18.00-25 (а) и 12.00R20 (б)

Значимость влияния элементов системы ВАДС в формировании ресурса шин представлена в табл. 2.4

Таблица 2.4 - Значимость влияния элементов системы ВАДС в формировании ресурса шин

Параметры шины	Доля отказов в общем их числе	Значимость влияния факторов			
		Водитель	Автомобиль	Дорога	Среда
Физический износ, %	60	+	+	+	+
Усталостные и тепловые разрушения, %	22	-	-	+	+
Механические повреждения, %	18	+	+	+	+
Снятие шин с эксплуатации, %	100	20	20	30	30
Шины типоразмера 18.00-25	1,00	0,10	0,35	0,42	0,12
Шины типоразмера 18.00-25	1,00	0,11	0,34	0,41	0,14

Значения удельных весов влияния элементов системы ВАДС в формировании ресурса шин для условий горных карьеров для шин типоразмеров 18.00-25 и 12.00R25 представлены в табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Значения удельных весов влияния элементов системы ВАДС на ресурс шины

Параметры шины типоразмера	Доля отказов в общем их числе	Удельный вес влияния элементов системы ВАДС на формирование ресурса шин			
		Водитель	Автомобиль	Дорога	Среда

18.00-25	1,00	0,10	0,35	0,42	0,12
12.00R20	1,00	0,11	0,34	0,41	0,14

Числовые значения предложенных коэффициентов, учитывающих влияние элементов системы ВАДС и эффективности ее функционирования на ресурс пневматических шин типоразмеров 18.00-25 и 12.00R20 для условий горных карьеров представлены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Показатель	Типоразмер шины	
	18.00-25	12.00 R20
Коэффициент корректирования, учитывающий влияние элемента системы ВАДС на ресурс шины:		
$k_B$	0,90	0,89
$k_A$	0,64	0,66
$k_D$	0,58	0,59
$k_C$	0,88	0,86
Комплексный коэффициент влияния эффективности функционирования системы ВАДС на ресурс пневматической шины, $k_{ВАДС}$	0,294	0,298
Коэффициент компенсации ресурса шины, учитывающий снижение эффективности функционирования системы ВАДС в условиях горных карьеров, $\xi$	1,9	1,7

С учетом полученных числовых значений коэффициентов определяем реальные значения ресурсов шин  $R_p$  для конкретных условий эксплуатации по формуле 2.39:

- для шин типоразмера 18.00-25

$$L_p = (k_B \cdot k_A \cdot k_D \cdot k_C) \cdot \xi \cdot L_n = \\ = [(1,00 - 0,10) (1,00 - 0,36) (1,00 - 0,42) (1,00 - 0,12)] \cdot 1,9 \cdot 45 = 25,14 \text{ тыс. км}$$

- для шин типоразмера 12.00R20

$$L_p = (k_B \cdot k_A \cdot k_D \cdot k_C) \cdot \xi \cdot L_n = \\ = [(1,00 - 0,11) (1,00 - 0,34) (1,00 - 0,41) (1,00 - 0,14)] \cdot 1,7 \cdot 70 = 35,47 \text{ тыс. км}$$

## 2.9 ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

1. Разработаны и обоснованы методы и подходы нормирования ресурса шин автосамосвалов в условиях горных карьеров.

2. Для оценки формирования ресурса шин использована методология структурного анализа SADT (*Structured Analysis & Design Technique*) и разработаны соответствующие SADT-модели. При моделировании процесса формирования ресурса шин в горных карьерных условиях целесообразным считается совместное использование стандартов IDEF0 и IDEF3, а результатом применения стандартов является модель, которая состоит из диаграмм, текстов и глоссария, имеющих ссылки друг на друга.

3. Разработаны математические модели оценки влияния отдельных элементов системы ВАДС на формирование ресурса шин.

4. На основе энергетического подхода при моделировании оценки ресурса шин предложены зависимости удельной интенсивности износа протектора автомобильной шины от энергетических показателей автомобилей, а также от объема перевозок и производительности. Эти модели являются универсальными и могут быть использованы при технико-экономических расчетах по установлению транспортно-эксплуатационных затрат при сравнении различных шин в конкретных условиях эксплуатации.

5. Результаты исследований могут быть применены для прогнозирования и уточнения нормативного ресурса шины в зависимости от условий эксплуатации, выбора шины, разработки рекомендаций по усовершенствованию конструктивных параметров шины и автомобильной дороги.

6. Разработанная математическая модель комплексной оценки влияния элементов системы ВАДС на износ и повреждения автомобильной шины отличается практичностью и адекватно отражает реальные процессы формирования ресурса шины, о чем свидетельствует хорошая согласованность результатов математической модели с опытными данными.

7. Для комплексной оценки влияния элементов системы ВАДС на ресурс шины предложены корректирующие коэффициенты, учитывающие доли участия отдельных элементов системы на формирование ресурса шины.

### 3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 3.1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Проверка разработанных математических моделей на адекватность, проведены на основе результатов лабораторных, дорожных и хронометражных испытаний шин автосамосвалов в условиях горных карьеров.

В качестве объектов исследований были выбраны пневматические шины типоразмеров 12.00R20 и 18.00-25, монтируемых соответственно на карьерных автосамосвалах БелАЗ-7540В и SHACMAN-SX3256DR384.

Экспериментальные исследования проводились с целью оценки границ влияния элементов системы ВАДС и комплексного ее влияния на реализацию ресурса шины в условиях горных карьеров.

Достижение намеченной цели связано с решением следующих задач исследования:

- определение параметров условий функционирования системы ВАДС и ее элементов;
- выявление границ варьирования параметров системы ВАДС при транспортировании грунта в горных карьерах;
- обоснование пределов влияния элементов системы ВАДС на реализацию ресурса шин автосамосвалов в заданных условиях эксплуатации;
- установление численных значений предложенных коэффициентов для оценки ресурса шин автосамосвалов в условиях горных карьеров.

Объекты экспериментальных исследований были подготовлены автором при содействии сотрудников технологического парка ТТУ им. акад. М.С. Осими и инженерно-технической службы ДАО «Основное строительство» ОАО «Рогунская ГЭС».

Согласно намеченных цели и задач экспериментальные исследования проводились по следующей последовательности:

–лабораторные исследования параметров новых шин, геолого-механических свойств и абразивности обломков горных пород, механических свойств резины;

– дорожные испытания параметров, элементов системы ВАДС, а также нагрузочно–скоростных характеристик автомобиля;

– дорожные испытания по уточнению числовых значений предложенных коэффициентов, корректирующих ресурс шин автосамосвалов, эксплуатируемых в конкретных условиях эксплуатации;

– хронометражные наблюдения за эффективностью функционирования системы ВАДС в горных карьерных условиях эксплуатации.

Лабораторные испытания по определению свойств протекторной резины проводились рентгеноструктурным методом в лаборатории кафедры «Физика твердых тел» Таджикского национального университета при содействии сотрудников кафедры на рентгенографическом оборудовании «Дрон-3» (рис. 3.1). Здесь же проводились испытания с целью определения механических свойств прибором «Твердомер для измерения твердости резины и мягких пластиков по Шору А ТН200» и гистерезисных потерь протекторной резины на упругомере типа Шоба (упругомер УМР-1). Прибор предназначен для определения эластичности резины по величине отскока падающего маятника согласно методике, изложенной в ГОСТ 27110-86 (ИСО 4662-1986 (E)). Сущность метода заключается в измерении величины отскока бойка маятника, падающего с определённой высоты на образец резины с твёрдостью от 30 до 85 IRHD. (рис. 3.2)



Рисунок 3.1-Рентгенографическое оборудование «Дрон-3»

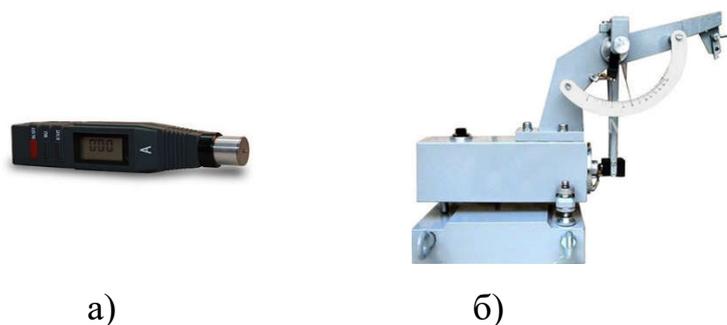


Рисунок 3.2 – Приборы для определения механических свойств резины:  
 а). твердомер типа А ТН200 для измерения твердости резины и мягких  
 пластиков по Шору; б) упрягомер типа Шоба для определения эластичности по  
 отскоку

Лабораторные испытания по определению геометрических параметров и механических свойств обломков горных пород, засыпанных на поверхности дороги, обуславливающих абразивный износ протекторной резины и механические повреждения пневматической шины, проводились в испытательной лаборатории при ДАО «Основное строительство» ОАО «Рогунская ГЭС» при содействии инженерно-технических работников лаборатории на специальном прессе (рис.3.3) согласно ГОСТ 21153.8-88 [30].



Рисунок 3.3 – Испытательный пресс Controls для испытания образцов  
 горных пород на сжатие

Здесь же проводились ситовой анализ абразивных обломков горной породы для определения их состава, удельного веса размерных групп абразивов, а также установлены геологический состав обломков горных пород.

Стендовым испытаниям предшествовала тарировка измерительной аппаратуры.

Дорожные испытания, направленные на оценку ресурса пневматических шин, проводились для определения параметров качества дорожных условий и их влияния на ресурс пневматической шины на протяжении 8 лет, с 2014 по 2021 годы на различных маршрутах грузоперевозок в горных карьерных условиях. Испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 30412-96 [33].

Хронометражные наблюдения проводились в условиях карьерных дорог на высотах 1000...1350 м.н.у.м. за карьерными автосамосвалами, соответственно, оснащенными шинами типоразмеров 18.00-25 и 12.00R20, в процессе которых были зафиксированы параметры, характеризующие влияние элементов системы ВАДС на реализацию ресурса шин автосамосвалов: полная масса, средняя за езду скорость движения, показатели баланса времени смены работы, производительность, расходы топлива, а также расход запасных частей на единицу выработки.

## **3.2 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ВАДС НА РЕАЛИЗАЦИЮ РЕСУРСА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ШИНЫ**

### **3.2.1 МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ИЗНОСА РИСУНКА ПРОТЕКТОРА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН**

Величина износа рисунка протектора пневматических шин автомобилей - самосвалов в горных карьерных условиях измерялась в соответствии с требованиями ГОСТ 26585-2003 [32].

Согласно требованиям, упомянутого Государственного стандарта, шины считаются не пригодным к эксплуатации при условиях:

- наличия участка беговой дорожки приведенных в п. 5.5.1.1 [32] размеров, высота рисунка протектора по всей длине которого меньше указанной нормативной;

- появления одного индикатора износа (выступа по дну канавки беговой дорожки, высота которого соответствует минимально допустимой высоте рисунка протектора шин) при равномерном износе или двух индикаторов в каждом из двух сечений при неравномерном износе беговой дорожки.

Измерение высоты рисунка протектора шины с осуществлялось с помощью цифрового глубиномера с точностью измерения 0,01 мм (рис. 3.4).



Рисунок 3.4—Измерение высоты рисунка протектора шин с помощью цифрового глубиномера

Высоту рисунка при равномерном износе протектора шин измеряли на участке, ограниченном прямоугольником, ширина которого составляла не более половины ширины беговой дорожки протектора, а длина равнялась длине окружности шины (соответствовала длине дуги, хорда которой равняется радиусу шины), расположенным посередине беговой дорожки протектора, а при неравномерном износе - на нескольких участках с разным износом, суммарная площадь которых имеет такую же величину.

### **3.2.2 МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН**

Измерение температуры поверхности шины пирометром осуществлялось в установленном порядке, с соблюдением правил, указанных в руководстве по эксплуатации пирометра высокотемпературного с встроенным видеоскопом DT–

9862. В качестве основных правил, соблюдение которых способствуют достижению достоверных результатов измерения температуры поверхности шины, можно указать следующие: адаптация прибора к условиям измерения в течении 15 ... 20 минут; тарировка показателей прибора; постоянный контроль уровня заряда источника энергии; очистка поверхности шины от слоя пыли, грязи, нефтепродуктов и прочих инородных материалов, влияющих на точность измерения; соблюдение правил осторожности при обращении с инфракрасным (ИК) сенсором пирометра; применение специальной жидкости для очистки ИК сенсора; беречь прибор от резких ударов и прочих обстоятельств, приводящих к его повреждению.

При помощи оптического тепловизора была установлена более полная картина температуры поверхности шины, т.к. он позволяет измерять градиент температуры поверхности шины.

Измерения температуры поверхности шины проводись в трех – или пятикратной повторности на различных высотах над уровнем моря, в течении рабочей смены в течении года.

Процесс измерения температуры поверхности шин автосамосвалов при помощи пирометра DT- 9862 представлен на рис. 3.5.



Рисунок 3.5– Процесс измерения температуры шин грузовых автомобилей при помощи пирометра DT- 9862

Результат измерения температуры шины оптическим тепловизором представлен на рис. 3.6.



Рисунок 3.6 – Результат измерения температуры шин оптическим тепловизором

### 3.2.3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ РАДИАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА РЕАЛИЗАЦИЮ РЕСУРСА ШИН АВТОСАМОСВАЛОВ

Вертикальная нагрузка, действующая на колесо автосамосвала, измерялась на подкладных автомобильных весах «Intercomp PT300» (рис.3.7), основные технические характеристики которых сведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Характеристика подкладных автомобильных весов Intercomp PT300-PT300

Характеристика	Величина
Максимальный предел измерения, т	20
Минимальный предел измерения, т	0,2
Класс точности подкладных весов по ГОСТ 29329-92	средний
Цена деления шкалы измерения, т	0,02

Дискретность отсчета по шкале $d$ , т	0,02
Точность измерения, %: в статическом режиме в режиме движения	$\pm 1\%$ $\pm 2\%$
Допустимая перегрузка, %:	150%
Габаритные размеры, мм: длина ширина высота	660 508 76
Напряжение: модульная никель-кадмиевая батарея работа от источников, В	стандартная 12, 110 или 230
Частота питающей сети, Гц	49 – 51
Потребляемая мощность, ВА, не более	11
Рабочая температура, °С	от -28°С до 65°С
Вероятность безотказной работы за 1000 часов	0,95
Автономная работа на стандартных аккумуляторах типа АА, час:	300
рок службы, лет, не менее	10
Гарантийный срок службы, год:	1

Вертикальная нагрузки на шину определялась методом поколёсного взвешивания грузенного и порожнего самосвалов в трехкратной повторности (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 – Взвешивание автосамосвала при помощи подкладных автомобильных весов «Intercomp PT300»

Взвешивание автомобиля на статическом режиме осуществлялось согласно существующей инструкции в установленном порядке действий [34]: подкладные автомобильные весы устанавливались горизонтально на твердой и прочной основе; автомобиль заезжал на платформу подкладных весов со скоростью 3-5 км/ч; взвешиваемое колесо грузового автомобиля находился по центру платформы подкладных весов; двигатель был заглушен по мере заезда автомобиля на платформу весов, после чего водитель сошел с кабины автосамосвала.

Значение вертикальной нагрузки определялось по показанию циферблат автомобильных весов.

### 3.3 ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

Отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины есть погрешность измерения. Она может быть определена в единицах измеряемой величины (абсолютная погрешность) или в относительном виде в процентах, или долях от истинного значения измеряемой величины (относительная погрешность) [106].

Абсолютная погрешность измерения  $\Delta X$  определяется из выражения

$$\Delta X = X - X_u, \quad (3.1)$$

где  $X$  и  $X_u$  – соответственно, истинное и измеренное значения параметра.

Относительная погрешность измерения  $\delta$  определяется как отношение

$$\delta = \Delta X / X_u . \quad (3.2)$$

Погрешности измерения бывают систематическими и случайными. Как правило, частота возникновения случайных погрешностей подчиняется закону распределения Гаусса, при котором предпочтительной считается оценка случайной погрешности по среднеквадратическому значению погрешности

$$\sigma_Q = \sqrt{D_{\text{пр}}^2 + D_{\text{пр.тар}}^2 + D_{\text{тар}}^2 + D_{\text{обр}}^2}, \quad (3.3)$$

где  $D_{\text{пр}}$  – погрешность прибора,  $D_{\text{пр.тар}}$  – погрешность тарировки прибора,  $D_{\text{тар}}$  – погрешность обработки результатов тарировок и  $D_{\text{обр}}$  – погрешность обработки результатов измерений.

При измерении энергетических показателей автомобиля, т.е. его скорости движения и радиальной нагрузки на колесо, при установлении характеристик качества дорожного покрытия, температуры воздуха и шины, давления воздуха внутри шины, а также при определении интенсивности изнашивания протекторной резины погрешности измерений не превышали  $\pm 3\%$ , которые находились в пределах допуска суммарной погрешности параметров по ГОСТ 26585-2003 [32], что свидетельствует о достоверности полученных экспериментальных данных.

### 3.5 ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

На основе приведённых экспериментальных исследований получены следующие результаты:

1. Определены свойства протекторной резины шин типоразмеров 12.00R20 и 18.00-25.
2. Установлены состав, плотность, физические и геометрические характеристики обломков горных пород, засыпанных на поверхности карьерной дороги.

3. В результате рентгеноструктурного анализа выявлены основные свойства протекторной резины и их влияние на усталостные и тепловые разрушения шины.

4. Погрешности измерений опытных данных не превышали  $\pm 3\%$ , что свидетельствует о достоверности полученных результатов и находились в пределах допуска на погрешности при измерении энергетических, линейных и массовых параметров по ГОСТ 6875-54.

## **4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **4.1 РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

#### **4.1.1 РЕЗУЛЬТАТЫ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА СВОЙСТВ**

##### **ПРОТЕКТОРНОЙ РЕЗИНЫ**

Интенсификация эксплуатации пневматических шин грузовых автомобилей в условиях горных карьеров диктует необходимость применения материалов с повышенными техническими характеристиками. Современные тенденции осложнения условий функционирования системы ВАДС выдвигают дополнительные требования к износо – и морозостойкости шин грузовых автомобилей в суровых условиях горных и высокогорных карьеров. Указанные соображения в полной мере относятся к протекторным резинам пневматических шин, которые обеспечивают прочность, износостойкость, эластичность, минимальные гистерезисные потери и хорошие сцепные качества с дорожным полотном. В горных карьерах пневматические шины грузовых автомобилей эксплуатируются в различных дорожно-климатических условиях в постоянном контакте: с сухим дорожным покрытием, засыпанным абразивными породами; в дорогах, покрытых слоем грязи, содержащим высокую концентрацию абразивных частиц; в гидроабразивной среде; при длительном воздействии воздушной среды с повышенной влажностью и солнечной радиации. В суровых горных условиях, на высотах более 1000 м н.у.м. пневматические шины грузовых автомобилей должны располагать такими свойствами, как стойкость к воздействию жидких агрессивных сред, морозо- и теплостойкость.

Следует иметь в виду, что в горных и высокогорных регионах Таджикистана температура окружающей среды зимой может достигать до -40 °С. В отдельных высокогорных регионах (Булункуль) температура воздуха может быть ниже -60 °С.

Свойство резины, сохранять способность к высокоэластичной деформации при низких температурах, обусловлено ее кристаллизумостью.

Кристаллизумость протекторной резины для шин грузовых автомобилей, эксплуатируемых в условиях горных карьеров, установлены в процессе рентгеноструктурного анализа в лаборатории кафедры «Физика твердых тел» Таджикского национального университета при содействии сотрудников кафедры на экспериментальной установке «Дрон –3» (рис. 4.1).

Низкая температура воздуха в сочетании с высокой степенью абразивности карьерных дорог снижает срок службы шин в 2—3 раза, что усугубляется при использовании шин, с кристаллизуемой протекторной резиной [17]. Шины обычного исполнения, произведенные из кристаллизуемой резины при низких температурах ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже), в случае наезда автомобиля на камень или неровность дороги могут, полностью разрушиться.

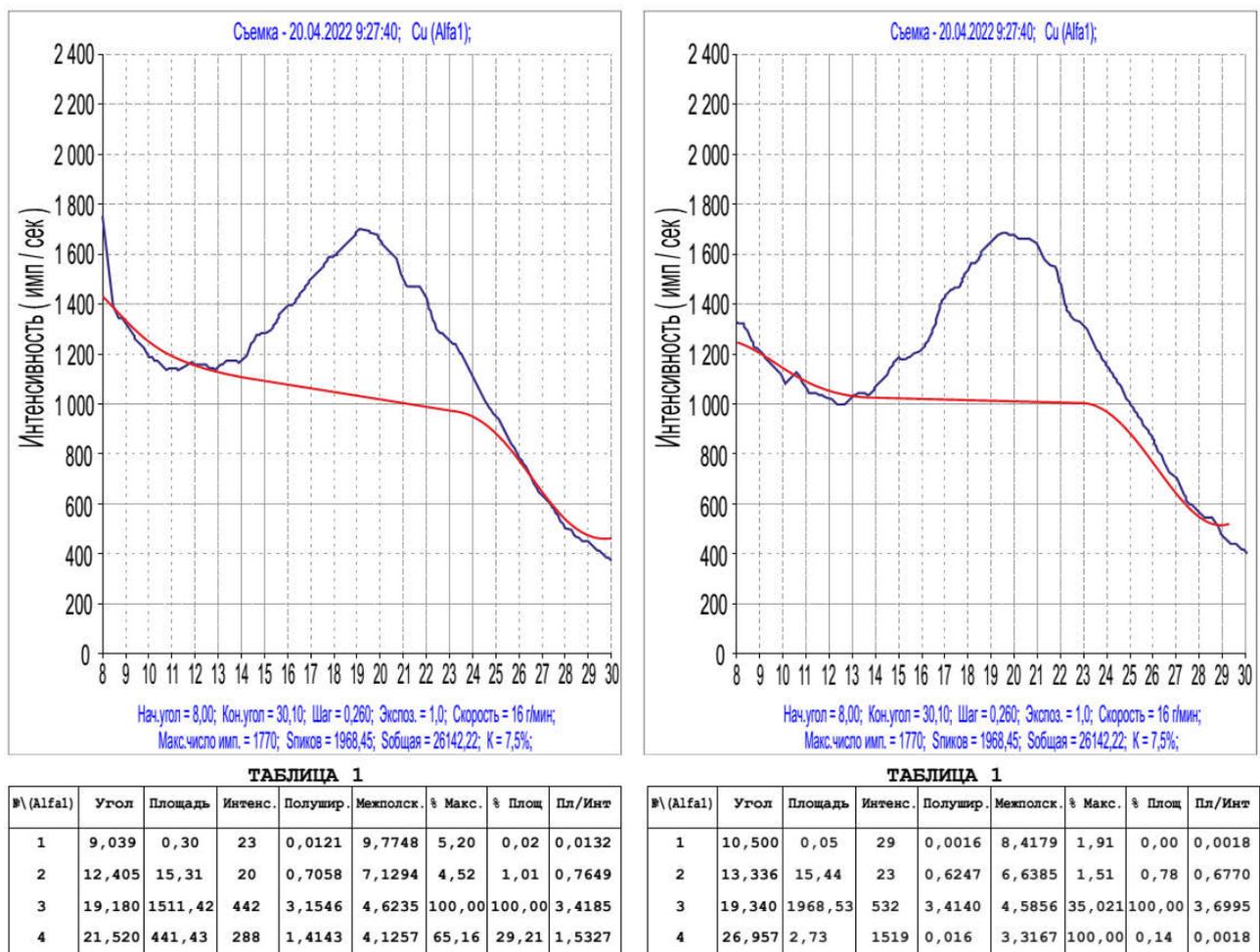


Рисунок 4.1 – Результаты рентгеноструктурного анализа свойств протекторной резины

После стоянки автомобиля при таких низких температурах на обледенелой дороге и в начале его движения из шины в ряде случаев вырываются куски протектора.

Следовательно, зимой в условиях горных и высокогорных карьеров республики считается целесообразным применение пневматических шины из морозостойкой резины, которая сохраняет способность к высокоэластичной деформации при температурах менее  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

По результатам экспериментов установлено, что протекторные резины пневматических шин грузовых автомобилей БелАЗ –7540В, SHACMAN-SX3258DR384, XOWO, Dongfeng сохраняют при комнатной температуре аморфную структуру при относительных удлинениях образца резины до 500% (рис. 4.2), что свидетельствует об их высокой морозостойкости при низких температурах в условиях горных карьеров.

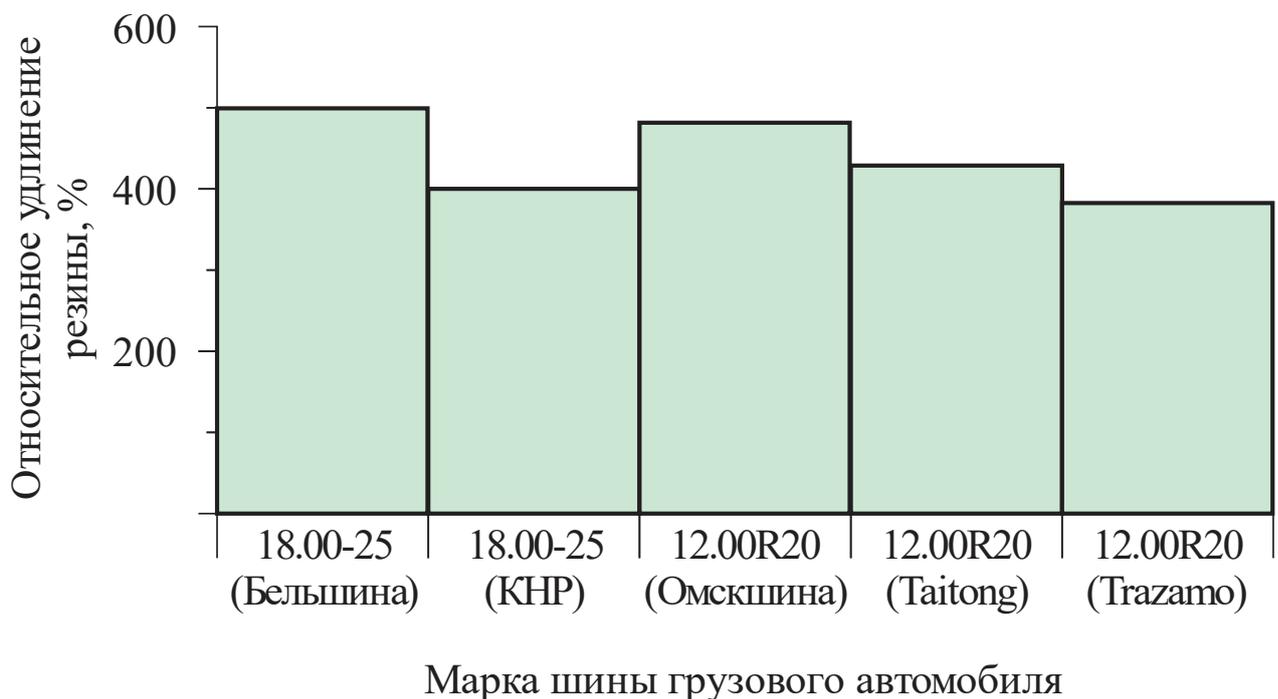


Рисунок 4.2 – Относительное удлинение протекторной резины

## 4.2 РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ СВОЙСТВ АБРАЗИВНЫХ ОБЛОМКОВ ГОРНЫХ ПОРОД

Обломки горных пород, засыпанных на поверхности карьерной дороги, и участвующие в абразивном изнашивании протекторной резины, характеризуются в основном твердостью, плотностью, геометрическими размерами, упругостью, прочностью, абразивностью и др. свойствами. Значения физических характеристик обломков горных пород, определенных в лабораторных условиях представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Пределы варьирования физических характеристик горных пород\*

№	Физическая характеристика	Ед. изм.	Пределы варьирования
1	Плотность	кг/м <sup>3</sup>	1100 – 4700
2	Твердость по штампу (по Л.А. Шрейнеру)	ГПа	0,1 до 7 и выше
3	Модуль продольной упругости**	Па	$5 \cdot 10^9 - 1,5 \cdot 10^{11}$
4	Коэффициент Пуассона**	–	0,15 – 0,38
5	Предел прочности при сжатии	Па	до $5 \cdot 10^8$
6	Предел прочности при растяжении**	Па	до $2,0 \cdot 10^7$
7	Коэффициент теплопроводности**	Вт/(м·К)	0,2 – 10
8	Удельная теплоёмкость**	кДж/ (кг·К)	0,5 – 1,5
9	Абразивность, $f_{кр}$	МПа	до 20

\* Некоторые породы имеют физические параметры, отличающиеся от приведённых значений; например, туфы могут обладать плотностью до 1000 кг/м<sup>3</sup>.

\*\* Справочные данные.

Наиболее важным свойством горной породы, характеризующим истираемость протекторной резины, является ее абразивность. Применительно к пневматической шине абразивность обломков горной породы определяется как ее способность изнашивать контактирующую с ней протекторную резину.

Абразивный износ протекторной резины в горных карьерных дорогах, засоренных обломками горных пород, оценивается как процесс интенсивного снижения качества шин вследствие среза поверхности шашек, царапин, надрывов и т.д.

В условиях эксплуатации автомобиля в горных карьерах истирание протекторной резины происходит по смешанному механизму с преобладающей долей абразивного износа, а интенсивность износа шины в целом определяется суммой отдельных видов износа. При этом характерной особенностью абразивного изнашивания протекторной резины заключается в том, что царапины и надрывы на поверхности протектора шины могут быть совершенно непредсказуемыми по направлению, форме, размерам и глубине (рис.4.3, *а*). Этим обстоятельством обусловлен абразивный износ шины с крошением поверхности протекторной резины, который может быть выделен как подвид абразивного износа, характерного для условий горных карьеров при разработке полезных ископаемых и строительстве ГТС (рис. 4.3, *б*).

*а**б*

Рисунок 4.3 – Механизм абразивного изнашивания протекторной резины:  
*а* – направления, формы, размеры и глубины царапин и надрывов; *б* – крошение поверхности протектора шины

Экспериментально установлены основные причины абразивного изнашивания и крошения пневматической шины автосамосвалов в горных карьерных условиях, к которым относятся:

- чрезмерный динамизм процесса качения колеса карьерного автосамосвала на неровной дороге, засыпанной абразивными обломками горных пород на ее поверхности;
- частота и сложность маневров;
- агрессивный режим управления автомобилем;
- проскальзывание колеса автомобиля под различным углом по отношению к направлению движения и др.

Наибольшая плотность распределения обломков горных пород наблюдается на поворотах, а также на участках дорог с крутыми подъемами и низкой ровностью, а также на участках дорог, смываемых обильным потоком воды.

В горных условиях Республики Таджикистан преобладают породы с высокой твердостью, крепостью и высокой абразивной способностью. Около 18 % всего объема высоко абразивных обломков горной породы составляют гранит, галит, алевролит, кварц и конгломерат. Примерный состав горной породы, засыпанной на поверхности горной карьерной дороги в условиях Республики Таджикистан в виде кристаллических зерен или обломков представлен на рис. 4.4.

Абразивные породы в виде мелкообломочных и крупнообломочных (угловатообломочные и округлообломочные) скальных пород образуются при взрыве горных скал. Наиболее распространенными абразивными обломками скальных пород являются крупные угловатые скальные обломки в виде дресвяных и щебенистых обломков, которые соответственно составляют 25 и 40% от общей массы абразивных частиц, засыпанных на поверхности дорожного полотна.

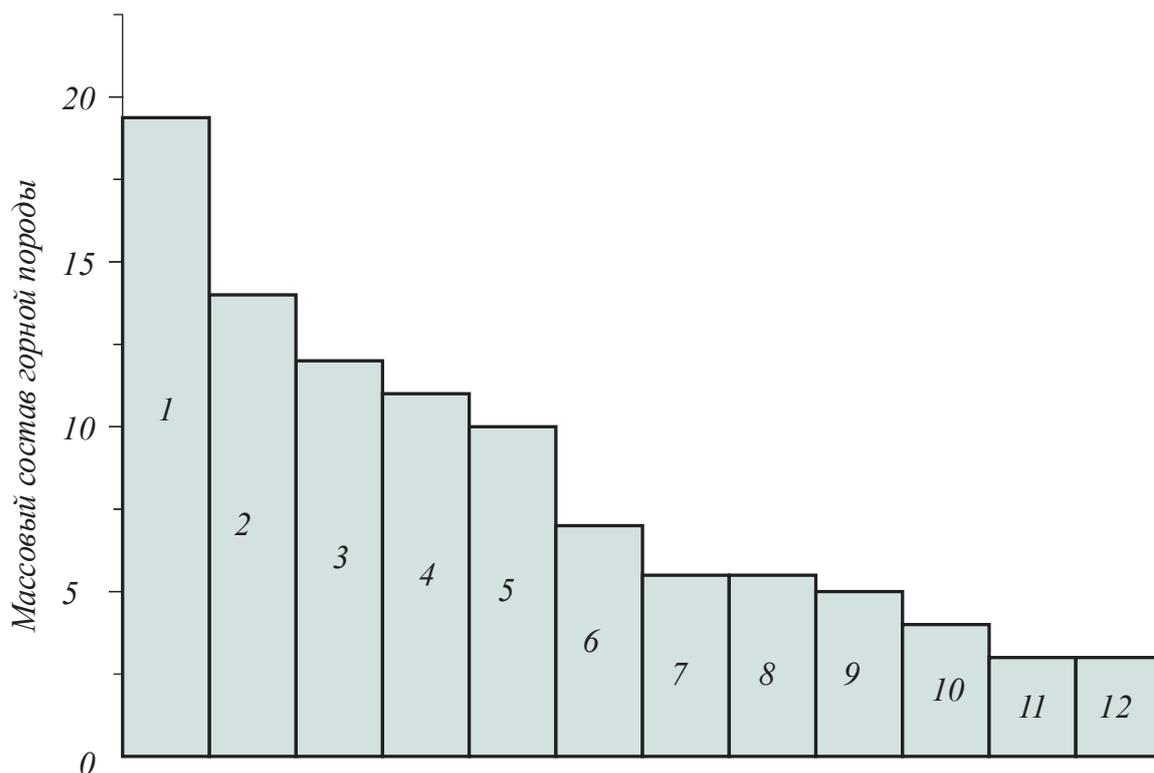
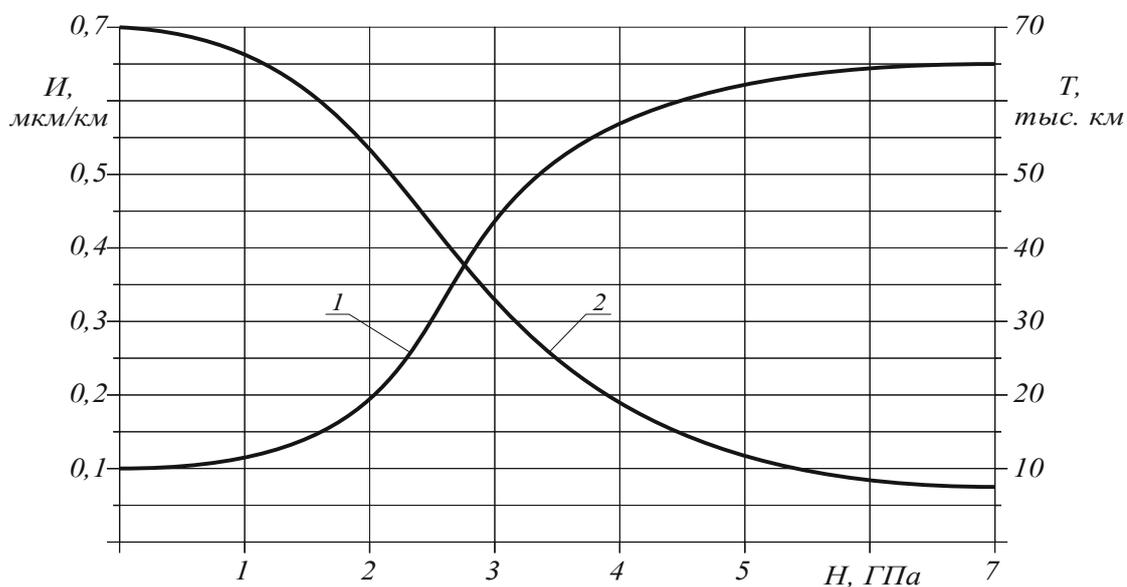


Рисунок. 4.4 – Примерный состав горной породы, засыпанной на поверхности горных карьерных дорог в условиях Республики Таджикистан в виде кристаллических зерен или обломков: 1 - галит; 2 - алевролит; 3 - ангидрит; 4 - конгломерат; 5-песчаник; 6 кварц; 7 - гипс; 8 - гематит; 9 - гранит; 10 - песчаник гравелитовый; 11 - маргель; 12 базальт.

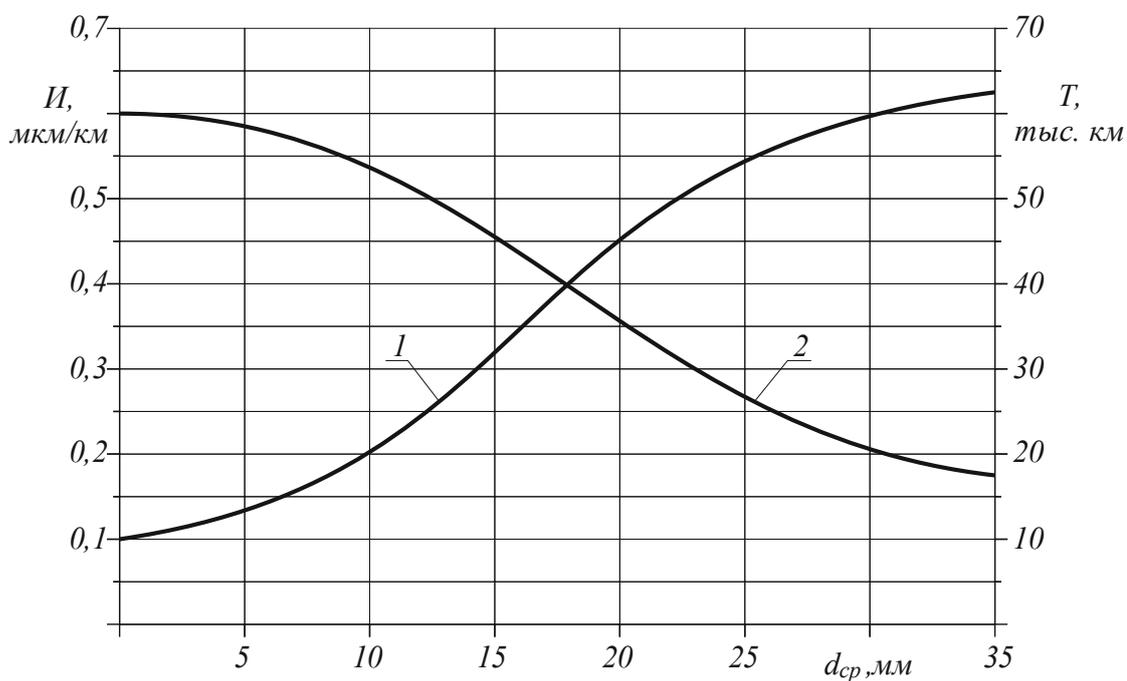
#### Анализ влияния состава и свойств обломков горных пород на ресурс шин автосамосвалов в условиях горных карьеров

Влияние твердости и крупности обломков горных пород на интенсивность изнашивания протекторной резины и среднюю наработку механических повреждений пневматических шин экспериментально установлены на различных маршрутах горных карьеров на строительстве Рогунской ГЭС. Зависимости интенсивности изнашивания протекторной резины и средней наработки механических повреждений пневматических шин типоразмера 12.00R20 от твердости и гранулированного состава обломков горных пород, при прочих равных условиях (нагрузочных и скоростных режимов движения

автомобиля, сложности геометрии маршрутов в плане и профиле, ровность дороги, стиля езды и др.), представлены на рис. 4.5 *а* и *б*.



*а)*



*б)*

Рисунок 4.5 – Зависимости интенсивности изнашивания протекторной резины (1) и средней наработки на механические повреждения (2) пневматической шины типоразмера 12.00R20 от твердости (*а*) и гранулированного состава (*б*) обломков горной породы в условиях горных карьеров Республики Таджикистан

В реальных условиях эксплуатации грузовых автомобилей в большинстве случаев имеет место комплексное или одновременное влияние множества факторов, обуславливающих их ресурс.

Рассмотрим совместное влияние наиболее значимых факторов на интенсивность изнашивания рисунка протектора шины.

Из перечисленных значимых факторов, определяющих интенсивность изнашивания рисунка протектора, а, следовательно, и ресурса шин грузовых автомобилей в условиях строительства Рогунской ГЭС, являются дорожные условия и радиальная нагрузка. Далее рассмотрено влияние названных параметров на интенсивность изнашивания рисунка протектора шин при постоянном значении полной массы автомобиля (рис. 4.6).

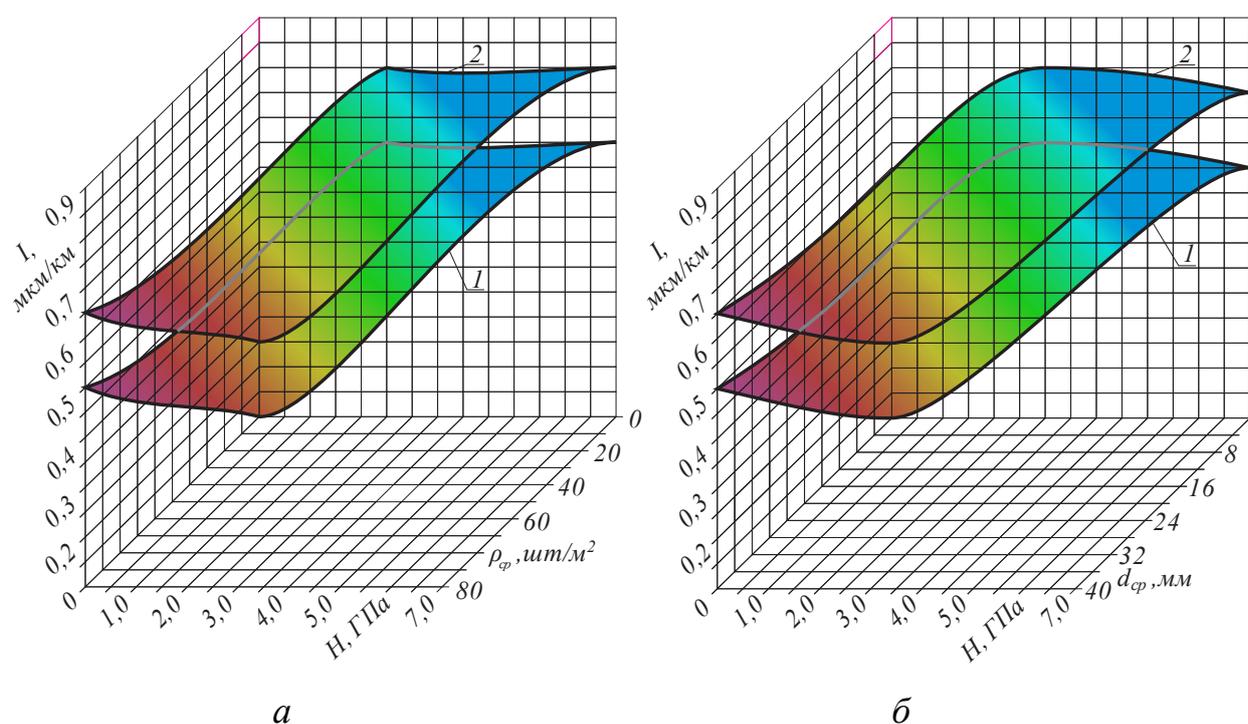


Рисунок 4.6 – Зависимость интенсивности изнашивания рисунка протектора  $I$  шины типа размера 12.00R20 от твердости  $H$  и плотности распределения обломков горной породы на поверхности дороги (а), от твердости  $H$  и геометрических размеров  $d$  обломков горных пород (б):

1- при  $M_a = 32$  т; 2- при  $M_a = 48$  т

### 4.3 СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ РЕСУРСА ШИН АВТОСАМОСВАЛОВ В ГОРНЫХ КАРЬЕРНЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГЭС

Результаты сравнительного анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований по оценке ресурса шин типоразмеров 12.00R20 и 18.00-25 автосамосвалов в горных карьерных условиях при строительстве ГЭС, а также абсолютные и относительные расхождения между ними представлены в табл. 4.2. Опытные данные получены в результате многолетних исследований, проведенных в карьерных условиях при строительстве Рогунской ГЭС, совместно с сотрудниками технологического парка ТТУ им. акад. М.С. Осими и инженерно-техническим персоналом ДАО «Основное строительство» ОАО «Рогунская ГЭС» в 2014-2021 годы. Теоретические данные получены на основе предложенной методики оценки ресурса шин с учетом влияния элементов системы ВАДС на его формирование.

Таблица 4.2 – Результаты сравнительного анализа теоретических и опытных данных по реализации ресурсов шин автосамосвалов в горных карьерных условиях

№	Типоразмер шины	Полная масса автомобиля, т	Ровность дороги по IRI	Температура воздуха, °С	Номинальный ресурс	Фактический ресурс по опытным данным, тыс. км	Фактический ресурс по предлагаемой методике, тыс. км	Абсолютная разница между теоретическим и опытным значениями ресурса шины, тыс. км	Относительная разница между теоретическим и опытным значениями ресурса шины, %
1	12.00R20	39,5	7,2	35	70	35,5	34,6	0,9	2,6
2	12.00R20	40,3	7,0	36	70	36,3	35,3	1,0	2,8
3	12.00R20	39,3	7,4	34	70	35,9	35,1	0,8	2,2

	Ср. значение	39,7	7,3	35	70	35,9	35,0	0,9	2,5
4	18.00-25	52,5	7,1	34	45	26,6	25,2	0,7	2,8
5	18.00-25	53,2	7,2	33	45	25,7	25,1	0,6	2,4
6	18.00-25	52,7	7,3	32	45	25,8	25,3	0,5	2,0
	Ср. значение	52,8	7,2	33	45	25,7	25,2	0,6	2,4

Как видно из табл. 4.2. относительное расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями ресурсов шин автосамосвалов, эксплуатируемых в горных карьерных условиях, не превышают 2,8%, а их среднее значение равняется 2,5%. Это свидетельствует о достаточно высокой достоверности полученных теоретических предпосылок, по оценке влияния элементов системы ВАДС ресурса пневматических шин автосамосвалов в условиях горных карьеров.

Сравнительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований зависимости ресурса пневматических шин автосамосвалов, от удельной затраты мощности в условиях горных карьеров (табл. 4.3), по существующей и предлагаемой методикам, представлены в виде графиков на рис. 4.7.

Таблица 4.3 - Сравнительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований зависимости ресурса пневматических шин автосамосвалов, от удельной затраты мощности в условиях горных карьеров

Показатель	Марка автомобиля	
	БелАЗ-7540В	SHACMAN-SX3258DR384
Двигатель: модель	ЯМЗ-240М21	WEICHAИ WP10
Грузоподъемность, т	30	25

Собственная масса, т	22,5	14,135
Полная масса (нормативная), т	52,5	39,135
Полная масса (в реальных условиях), т	45 ... 59	32 ... 44
Максимальная мощность двигателя (кВт), при:		
h = 0 м н.у.м.	265	247
h = 1000 м н.у.м.	238	222
h = 2000 м н.у.м.	212	198
h = 3000 м н.у.м.	186	173
h = 4000 м н.у.м.	160	148
Удельные затраты мощность автомобиля груженого/порожнего (кВт/т), при:		
h = 0 м н.у.м.	(4,5 ... 5,9) / 11,8	(5,6 ... 7,7) / 17,5
h = 1000 м н.у.м.	(4,0 ... 5,2) / 10,6	(5,0 ... 6,9) / 15,7
h = 2000 м н.у.м.	(3,5 ... 4,6) / 9,4	(4,4 ... 6,0) / 14,0
h = 3000 м н.у.м.	(3,1 ... 4,1) / 8,3	(3,9 ... 5,4) / 12,2
h = 4000 м н.у.м.	(2,7 ... 3,5) / 7,1	(3,4 ... 4,6) / 10,5
Удельные затраты мощности автосамосвала (между колесом и дорогой) за езду (кВт/т) при $\eta_{тр} = 0,92$ и:		
h = 0 м н.у.м.	7,50 ... 8,14	10,63 ... 11,59
h = 1000 м н.у.м.	6,72 ... 7,27	9,52 ... 10,40
h = 2000 м н.у.м.	5,93 ... 6,44	8,46 ... 9,20
h = 3000 м н.у.м.	5,24 ... 6,16	7,41 ... 8,10
h = 4000 м н.у.м.	4,51 ... 4,88	6,39 ... 6,95

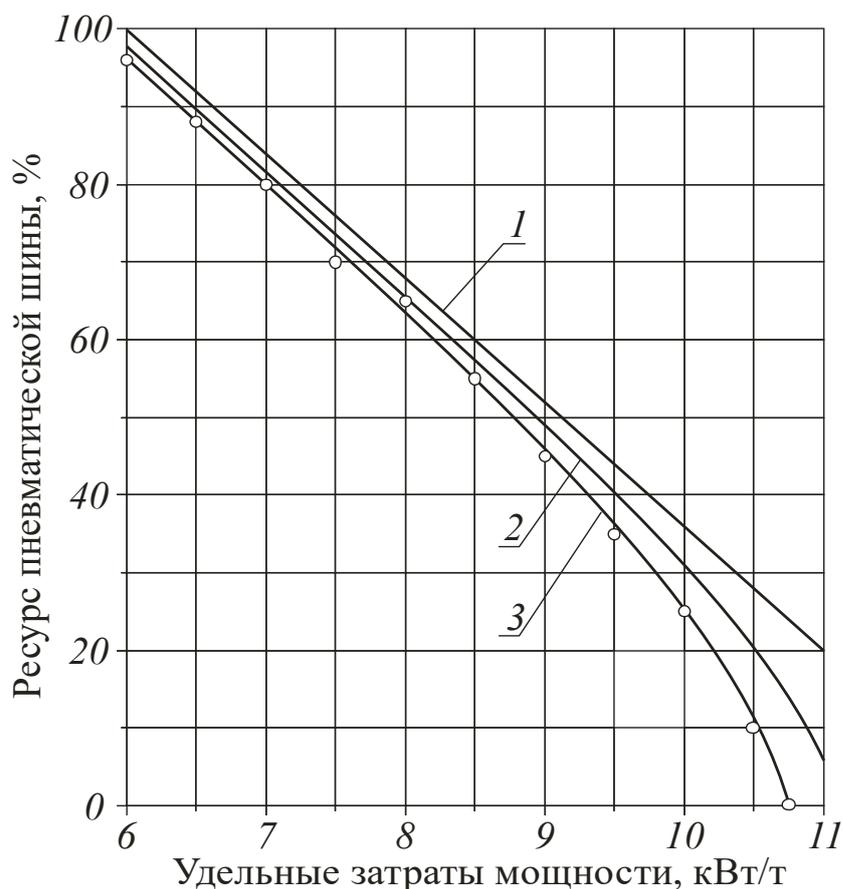


Рисунок 4.7 – Зависимость ресурса пневматической шины карьерного автосамосвала от удельной затраты мощности между колесом и горной карьерной дорогой: 1 и 2 – расчетный ресурс пневматической шины, соответственно, по традиционной и предлагаемой методикам; 3 – опытное значение ресурса пневматической шины автосамосвала в условиях горных карьеров

Из графиков следует, что с повышением удельных затрат мощности автомобиля ресурс пневматической шины снижается. Для шин автосамосвалов в условиях горных карьеров, с увеличением затрат мощности, наблюдается резкое снижение ресурса, определенного по предлагаемой методике, что обусловлено значительной долей отказов шин автосамосвалов из-за усталостно-тепловых разрушений и механических повреждений в отличие от условий эксплуатации шин в равнинных дорогах.

#### 4.4 РЕЗУЛЬТАТЫ ХРОНОМЕТРАЖНЫХ И СТАТИСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Хронометражные исследования для установления затраты времени на нормативную смену, уровня нагрузочно-скоростных режимов работы автомобиля и прочих данных, необходимых для оценки формирования ресурса шин автосамосвалов, связанных с эффективностью системы ВАДС, проводились согласно требованиям руководящих документов в горных карьерных условиях при добыче полезных ископаемых и строительства ГТС.

Результаты хронометражных исследований по определению затрат времени работы и производительности автосамосвалов за смену представлены в табл. 4.4 и 4.5, в которых приведены баланс времени работы автосамосвалов за нормативную смену и показатели эффективности функционирования системы ВАДС в горных карьерных условиях.

Таблица 4.4 – Баланс времени работы автосамосвалов на маршруте №10 с длиной плеча 11 км

Показатели времени	SHACMAN-SX3256DR384 с шиной 12.00R20		БелАЗ-7540В с шиной 18.00-25	
	ед. изм.		ед. изм.	
	ч	%	ч	%
Время основной работы самосвала	8,91	81,0	8,58	78,0
Затраты общего времени на:				
– погрузку грунта	0,88	8,0	0,77	7,0
– разгрузку грунта	0,33	3,0	0,22	2,0
Время за езду самосвала:				
– в груженном виде	4,62	42,0	4,73	43,0
– в порожнюю	3,08	28,0	2,86	26,0

Затраты времени на холостые переезды	0,37	3,4	0,38	3,5
Время на проведение ЕО	0,50	4,5	0,73	6,6
Время для отдыха	1,00	9,1	1,00	9,1
Время на устранение технических неисправностей и отказов	0,22	2,0	0,31	2,8
Итого: сменное время	11,00	100	11,00	100

Таблица 4.5 – Показатели эффективности функционирования системы ВАДС в горных карьерных условиях по результатам хронометражных наблюдений

Показатель	SHACMAN-SX3256DR384 с МТ		БелАЗ-7540В с ГМТ	
	ед. изм.	значение показателя	ед. изм.	значение показателя
Категория водителя	–	III	–	III
Стаж работы водителя	лет	4	лет	5
Техническое состояние автомобиля	–	соответствует ТУ	–	соответствует ТУ
Срок службы автомобиля	лет	2	лет	2
Средняя скорость движения автомобиля за езду	км/ч	20,0	км/ч	16,00
Грузоподъемность	т	25	т	30
Полная масса автомобиля	т	39,13	т	52,8
Снаряжённая масса автомобиля	т	14,13	т	22,9
Средний уклон дороги	град	4,0	град	4,0
Коэффициент сцепление дороги	–	0,46	–	0,46

Неровность дороги по IRI	-	7,4	-	7,4
Длина плеча грузоперевозки	км	10,6	км	10,6
Количество рейсов в смену	шт	12	шт	8
Вид груза	–	горная порода	–	горная порода
Плотность перевозимого груза (горной породы)	т/м <sup>3</sup>	2,3	т/м <sup>3</sup>	2,3
Средняя масса груза	т	25,4	т	29,9
Сменная производительность	т/см	304,8	т/см	239,2
Продолжительность смены	ч	10,8	ч	11,2
Температура воздуха	°С	+31	°С	+31
Давление воздуха	мм. рт. ст.	640	мм. рт. ст.	640
Высота н. у. м.	м	1070 -1200	м	1070 -1200
Эффективность системы ВАДС**	%	26,8	%	31,2

\* – по существующим нормативам;

\*\* – по результатам исследований автора [91].

На рисунке 4.8 и представлены плотности распределения частот отказов пневматических шин типоразмеров 12.00R20 (а) и 18.00-25 (б). Результаты обработки данных, полученных при хронометражных наблюдениях, показывают, что распределения частот отказов хорошо согласуется с теоретическим законом распределения Гаусса. Вероятности согласия распределений частот отказов  $P(X^2)$  находятся в пределах 0,72 – 0,89. При этом коэффициенты их вариаций изменяются в пределах  $v = 12 - 20\%$ .

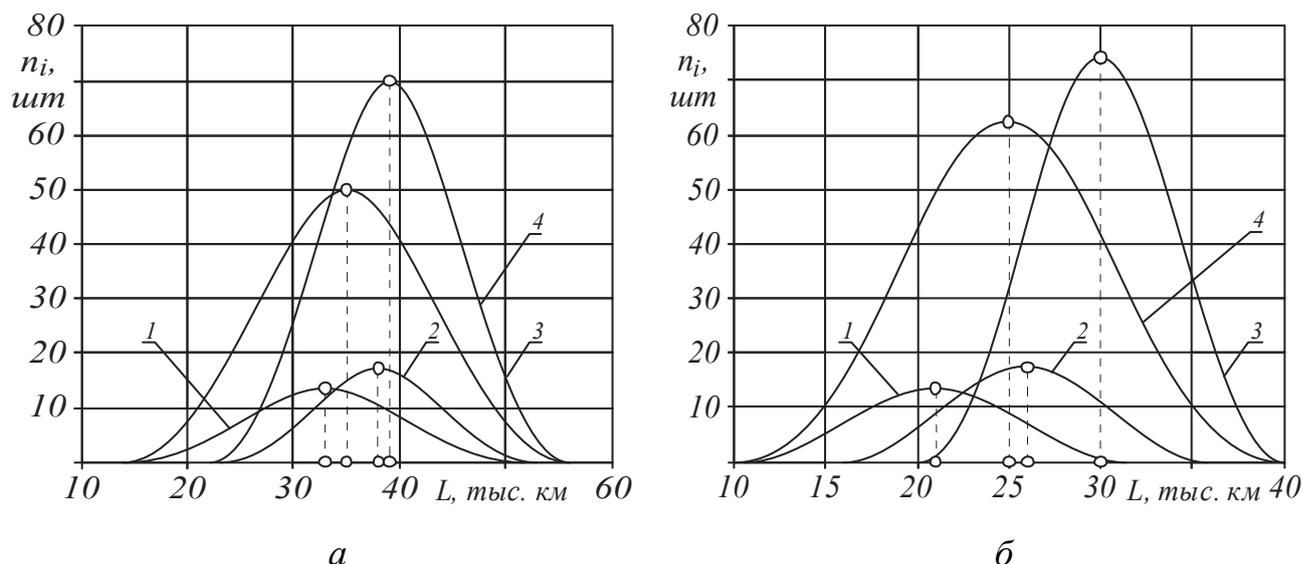


Рисунок 4.8 – Плотности распределения частот отказов пневматических шин типоразмеров 12.00R20 (а) и 18.00-25(б) по: 1 – механическим повреждениям; 2 – усталостным и тепловым разрушениям; 3 – естественному износу рисунка протектора; 4 – отказы шин, обусловленные по всем трем причинам

Как видно из представленного графика (рис. 4.6) для отказов, обусловленных по всем трем причинам для шин типоразмера 12.00R20:  $L_{cp} = 35$  тыс. км,  $\sigma = 6,3$  тыс. км и  $\nu = 18\%$ ,  $P(\chi^2) = 89\%$ , а для шин типоразмера 18.00-25  $L_{cp} = 25$  тыс. км,  $\sigma = 5$  тыс. км и  $\nu = 20\%$ ,  $P(\chi^2) = 87\%$ .

#### 4.5 СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УДЕЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНОСА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ШИНЫ

Показатели удельной интенсивности изнашивания рисунка протектора автомобильной шины вполне ассоциирует такие качества как: изготовления автомобиля в целом и шины в частности, автомобильной дороги и дорожной инфраструктуры, управления автомобилем, проведения ТО и ремонта, хранения, а также реализации ресурса шины.

Величина удельной интенсивности изнашивания рисунка протекторной резины связана с конструкцией шины. Деформация каркаса оказывает

значительное влияние на величину деформации и напряжения в контакте шины с дорожным покрытием [11, 112]. Например, в условиях горных карьеров интенсивность изнашивания шин диагональной конструкции 1,5 ... 3,0 раза выше, чем радиальных. Основными причинами уменьшения износа радиальных шин являются пониженные меридиональные деформации элементов каркаса в зоне беговой дорожки шины и большая изгибная жесткость беговой дорожки благодаря наличию жесткого брекерного пояса [113].

Комплексное исследование характера и значимости влияние других конструктивных параметров автомобильной шины на величину удельной интенсивности изнашивания протекторной резины будут способствовать улучшению конструктивных особенностей шин карьерного типа, эксплуатируемых в сложных условиях горных карьеров.

Средние значения удельных интенсивностей износа рисунка протектора, отнесенные к энергетическим параметрам и полученные в результате теоретических и экспериментальных исследований, а также относительные расхождения между ними  $\delta$ , представлены в табл. 4.6.

Как видно из табл. 4.6 относительные расхождения между теоретическими и экспериментальными средними значениями удельных интенсивностей износа рисунка протектора, отнесенными к энергетическим параметрам, не превышают 2,9 %, а среднее значение относительных расхождений при этом составляет 1,88 %, что свидетельствует о достаточной высокой достоверности полученных теоретических предпосылок для оценки ресурса пневматических шин автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях горных карьеров.

Таблица 4.6 - Теоретические и экспериментальные значения удельных интенсивностей износа рисунка протектора, отнесенных к энергетическим параметрам

Марка шины	Средняя интенсивность износа шины $I_h$ , $10^{-3}$ мм/км	$j_{eh}$ , $10^{-3}$ мм/(кВт·ч)		$\delta$ , %	$j_{mz}$ , $10^{-3}$ мм/(т·км)		$\delta$ , %	$j_{mg}$ , $10^{-3}$ мм/кг		$\delta$ , %	$j_{mw}$ , $10^{-3}$ мм/т		$\delta$ , %
		теорет.	эксперим.		теорет.	эксперим.		теорет.	эксперим.		теорет.	эксперим.	
для шин типоразмера 18.00-25 карьерного типа, монтированных на автосамосвале БелАЗ-7540В													
BelSHINA	1,44	0,144	0,140	2,8	0,096	0,094	2,1	0,97	0,99	2,1	0,98	1,00	2,0
TAITONG	1,64	0,168	0,164	2,4	0,108	0,105	2,8	1,10	1,13	1,7	1,08	1,10	1,8
для шин типоразмера 12.00R20 карьерного типа, монтированных на автосамосвале SHACMAN-SX3256DR384													
BelSHINA	0,62	0,086	0,088	2,3	0,050	0,049	2,0	0,62	0,61	1,6	0,45	0,46	2,2
Omsk SHINA	0,63	0,088	0,087	1,1	0,051	0,052	1,9	0,63	0,64	1,6	0,46	0,44	2,2
KAMA	0,68	0,094	0,096	2,1	0,054	0,055	1,8	0,68	0,70	2,9	0,49	0,48	2,0
TAITONG	0,69	0,096	0,095	1,0	0,055	0,056	1,8	0,69	0,70	1,4	0,50	0,50	0
KARSEN	0,71	0,099	0,097	2,0	0,057	0,056	1,7	0,71	0,69	1,4	0,51	0,50	2,0

#### **4.6 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ ПОВЫШЕНИЯ ресурса пневматической шины**

Оценке экономической эффективности от повышения пробега пневматической шины, формируемого за счет более полной реализации ее ресурса в условиях горных карьеров производилась с целью изыскания путей снижения затрат на эксплуатацию пневматических шин путем внедрения разработанных рекомендаций, в результате которых предполагаются уменьшение потерь надежности и расхода топливо-смазочных материалов, а также высвобождение части наличных производственных фондов, сокращение эксплуатационных расходов и затрат на ремонтные работы и, конечно же, увеличение производительности труда.

В Республике Таджикистан ведение горных работ в основном связаны открытой добычей полезных ископаемых, строительством ГТС, автомобильных дорог и железнодорожных путей, а также возведением дамб. Преобладающая часть этих работ выполняются в горных и высокогорных условиях, на высотах 1000 и более метров н.у.м. с применением горного оборудования большой единичной мощности и большегрузного автомобильного транспорта.

В суровых горных условиях экономическая эффективность эксплуатации пневматической шины автомобиля значительно отличается и, в общем, снижается при увеличении эксплуатационных затрат в 2–4 раза по сравнению с аналогичными расходами в равнинных регионах страны. Анализ эксплуатации большегрузных карьерных автосамосвалов в горных карьерных условиях показал, что простои автосамосвала по техническим причинам, связанным с пневматической шиной, составляют до 8-10 % календарного времени и более чем в три раза превышают нормативные.

Эксплуатация пневматических шин с низким уровнем технических характеристик, а также ресурса связано с использованием дополнительных производственных фондов, с увеличением расхода материалов и

энергетических затрат. При этом увеличивается ремонтный фонд изделий, повышаются расходы на их эксплуатацию и ремонт и т.д.

Для оценки экономической эффективности использования пневматических шин необходимо применять комплексный метод, который учитывал бы влияние большого количества факторов и все многообразие их сочетаний на реализацию их ресурса.

На основе анализа результатов многолетних исследований по нормированию пробега шин грузовых автомобилей, проведенных сотрудниками кафедры и технологического парка при ТТУ им. акад. М.С. Осими совместно с инженерно – техническими работниками ДАО «Основное строительство» ОАО «Рогунская ГЭС» и АОО «Шабакахои таксимоти барк», разработаны рекомендации по оценке и повышению их долговечности:

1. Обеспечение равномерности погрузки горной массы с минимальными отклонениями груженого автосамосвала от номинальной его грузоподъемности. Фактическая масса груженого автосамосвала БелАЗ – 7540В в условиях строительства Рогунской ГЭС меняется от 23 до 35 т при номинальной грузоподъемности, равной 30т. Этот же показатель для автосамосвалов SHACMAN SX3258DR384 варьирует в пределах от 19 до 31 т при номинальной грузоподъемности, равной 25т. При перевозке груза меньше, чем номинальная грузоподъемность автосамосвала, наблюдается снижение расхода топлива и заметно увеличивается при максимальных значениях массы перевозимого груза и может достигать до 18-22 %. Превышение же полной массы автосамосвала в названных условиях обуславливает резкое увеличение интенсивности интенсивность отказов шин, что в среднем может достигать 20%.

2. Из-за суровых условий ухудшается качество дороги и, как следствие, заметно увеличивается влияние дорожных условий на реализацию ресурса шины, что может достигать до 15 % от числа всех отказов шин.

3. Поддержание уровня технического состояния шины в пределах, установленных в технических условиях (ТУ). Нарушение температурного

режима, давления воздуха в шине, а также прилипшие слой грязи и застрявшие обломков горных пород на теле шины способствует снижению ресурса шины. Только лишь из-за повышения температуры шины, достигающей до 80 °С, приводит к двухкратному увеличению износа рисунка протектора.

Влияние этих и других особенностей элементов системы ВАДС являются причиной значительного снижения ресурса шин, и, как следствие, ухудшения основных технико-экономических показателей автосамосвалов, связанного со снижением производительности грузоперевозок (на 10-15%) и надежности автомобиля (коэффициента готовности автомобиля на 8-10%), а также заметному росту расхода топлива до 40 %.

Является очевидным, что, при соблюдении предложенных рекомендаций, может быть достигнуто определенный экономический эффект  $\mathcal{E}$ , который определяется как сумма эффектов от: снижения потерь ресурса шин  $\mathcal{E}_u$ , снижения расхода топлива  $\mathcal{E}_m$ , от повышения надежности автомобиля  $\mathcal{E}_n$  и повышения производительности грузоперевозок  $\mathcal{E}_p$ , т.е.

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_u + \mathcal{E}_m + \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_p. \quad (4.1)$$

Эффект, достигаемый от повышения ресурса шин, определяется по формуле

$$\mathcal{E}_u = (Z_0 - Z_n)N_u, \quad (4.2)$$

где  $Z_0$  и  $Z_n$  – эксплуатационные затраты на шину автосамосвалов до и после внедрения разработанных рекомендаций, сомони/шт.;  $N_u$  – среднегодовая потребность в шинах, шт.

Экономический эффект, достигаемый за счет экономии топлива, определяется по формуле

$$\mathcal{E}_m = (V_0 - V_n)C_m, \quad (4.3)$$

где  $V_0$  и  $V_n$  – годовой объем расхода топлива автосамосвалами до и после внедрения рекомендаций, кг;  $C_m$  – цена топлива, сомони/кг.

Для практических целей может быть использована эмпирическая формула для расчета экономической эффективности  $\mathcal{E}$ , достигнутой за счет

снижения эксплуатационных потерь на шину от ее пробега  $L_{ш}$ , найденная по результатам экспериментальных исследований

$$\mathcal{E} = k \cdot \mathcal{E}_{ш}^n, \quad (4.12)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий сложность условий эксплуатации: для строительства Рогунской ГЭС находится в пределах от 0,18 до 0,22;  $n$  – показатель степени, равный для данных условий и типоразмеров шин 1,15 ... 1,35.

По результатам расчетов построены графики зависимости экономического эффекта от внедрения рекомендаций по повышению ресурса шины (рис.4.9).

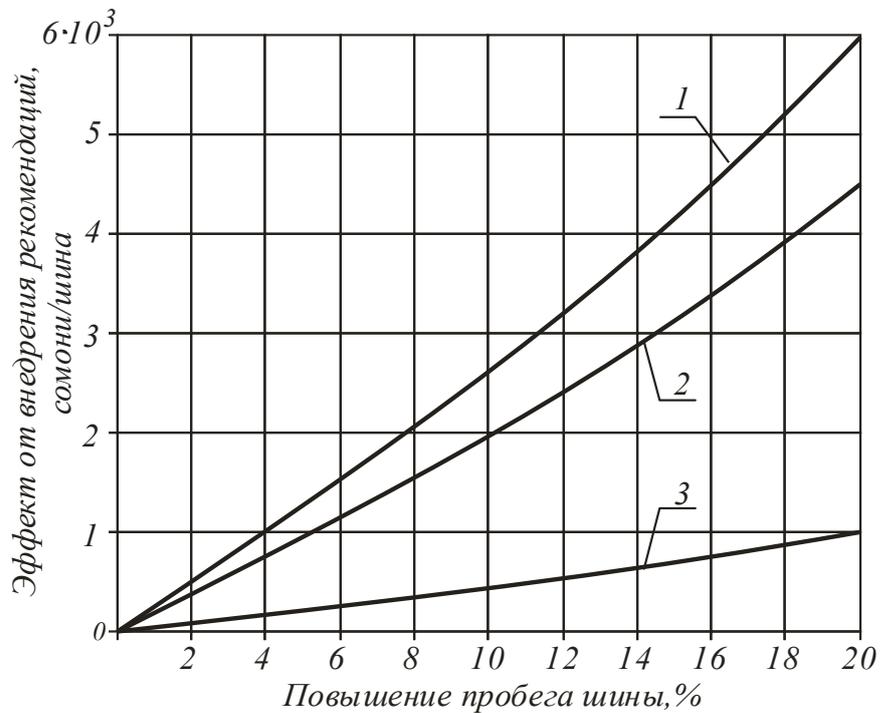


Рисунок 4.9 – Графики зависимости экономического эффекта от внедрения рекомендаций по повышению ресурса шины для шин типоразмера: 1 – 18.00–25 (Белшина); 2 – 18.00–25 (производство КНР); 3 – 12.00R20 (производство КНР).

#### 4.7 ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

На основе приведённых экспериментальных исследований получены следующие результаты:

1. В результате рентгеноструктурного анализа выявлены основные свойства протекторной резины и их влияние на усталосно-тепловые разрушения шины.

2. Экспериментально установлены удельные значения интенсивности износа протекторной резины по энергетическим показателям, т.е. интенсивности износа отнесенная к объему перевозимого грузасоставляет: для шин типоразмера 18.00–25  $j_{mz} = (0,094 \dots 0,105) \cdot 10^{-3} \text{мм}/(\text{т} \cdot \text{км})$ ; для шин типоразмера 12.00R20  $j_{mz} = (0,049 \dots 0,056) \cdot 10^{-3} \text{мм}/(\text{т} \cdot \text{км})$ .

3. Обоснованы результаты сравнительного анализа теоретических и опытных данных по ресурсу шин автосамосвалов в горных карьерных условиях. Установлено, что теоретические и опытные данные хорошо согласуются между собой. Максимальные значения относительных разниц между теоретическим и опытным данными составляют 2,8%, при этом их средние значения не превышают 2,5%.

4. Обоснованы численные значения долей влияния элементов системы ВАДС на реализацию ресурса шины. В горных карьерных условиях доли влияния элементов системы ВАДС составляют: мастерство управления автомобилем-10-11%; атомобиль-34-36%; дорога-41-42%; среда 12-14%.

5. Результаты экспериментальных исследований приняты к использованию для внедрения в производство АО «Шабакхон таксимоти барк» при добыче угля в условиях горных карьеров.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Выполнен анализ классификационных характеристик элементов системы ВАДС в горных карьерных условиях, уточнены ее структура, отношения и связи между элементами, а также свойства организации и оценки энтропии в системе с целью упрощения решения задач, связанных с повышением эффективности транспортной системы путем оценки влияния элементов системы на реализацию ресурса шин автосамосвалов.

2. Разработаны математические модели оценки влияния отдельных элементов системы ВАДС на реализацию ресурса пневматических шин автосамосвалов, отличающиеся достаточной адекватностью с результатами экспериментальных исследований ( $\delta \leq 3\%$ ). Предложенные зависимости удельной интенсивности износа протектора автомобильной шины от энергетических показателей автомобилей, а также от объема перевозок и производительности, полученные на основе разработанного энергетического подхода, могут быть использованы при технико-экономических расчетах по установлению транспортно-эксплуатационных затрат, при сравнении различных шин в конкретных условиях эксплуатации, а результаты исследования на его основе могут быть использованы для прогнозирования и уточнения нормативного ресурса шины в зависимости от условий эксплуатации, выбора шины, разработки рекомендаций по усовершенствованию конструктивных параметров шины и автомобильной дороги.

3. Предложены методика и коэффициенты корректирования, учитывающие влияния элементов системы ВАДС на реализацию ресурса шин автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях горных карьеров, значения которых для шин типоразмеров 12.00R20 и 18.00-25 находились в пределах:  $k_B = 0,89 \dots 0,90$ ;  $k_A = 0,64 \dots 0,66$ ;  $k_D = 0,58 \dots 0,59$ ;  $k_C = 0,86 \dots 0,88$ .

4. С целью упрощения решения поставленных задач использована методология структурного анализа SADT (Structured Analysis & Design

Technique) и разработаны соответствующие SADT – модели для оценки реализации ресурса шин, функционирующих в рамках большой и сложной системы ВАДС.

5. Установлены характер проявления механизмов истирания и механических повреждений автомобильных шин, свойственных преимущественно горным карьерным условиям, способствующим резкому снижению ресурса шин в среде абразивных обломков горных пород и в среде абразивной грязи. Исследован механизм механического повреждения шины вследствие последовательного внедрения обломков твердой скальной породы в тело протектора, заключающийся в том, что при наступлении тем же местом, то есть застрявшим щебенистым осколком, на другой твердый предмет (осколок щебня, булыжник, галечник и др.) происходит глубокое вдавливание до сквозного прокалывания протектора шины.

Экспериментально установлены средние значения реальных ресурсов пневматических шин, функционирующих в горных карьерных условиях: для шин типоразмеров 12.00R20 – 35 тыс. км и 18.00-25 – 25 тыс. км.

6. Результаты сравнительного анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований оценки ресурса шин автосамосвалов, эксплуатируемых в горных карьерных условиях по существующей и предлагаемой методикам установлено, что при достижении значения удельной мощности до 7,5 кВт/т наблюдается резкое снижение ресурса шин, что объясняется заметным повышением буксования колес автомобиля.

7. Обобщенные результаты теоретических и экспериментальных исследований и предложенные рекомендации по оценке и повышению ресурса шин карьерных автосамосвалов могут быть внедрены в технологический процесс функционирования системы ВАДС при выполнении транспортных работ в горных карьерных условиях.

8. Установлено, что резервы повышения эффективности шин грузовых автомобилей в горных условиях эксплуатации может достичь 20 ... 30% с учетом полноты внедрения разработанных рекомендаций.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основе полученных результатов исследований оценки влияния элементов системы ВАДС на реализацию ресурса шин автосамосвалов в горных карьерных условиях предлагаются следующие практические рекомендации:

- с целью повышения нормы пробега пневматических шин необходимо повысить надежность элементов системы ВАДС и в целом эффективность функционирования системы;

- снижение степени варьирования полной массы автосамосвала, занятого перевозкой горной породы, что приводит к повышению производительности труда и, в тоже время, увеличению работы трения между колесом и дорогой, а также к снижению засорения дорожного покрытия абразивными обломками горной породы;

- разработать меры для снижения значения обобщенного динамического коэффициента  $k_D$ , применяемого для оценки эффективности карьерной автомобильной дороги и учитывающего совместное (комплексное) влияние большого количества факторов и многообразия их сочетаний, которые обуславливают сложность дорожных условий в горных карьерах;

- для снижения уровня абразивности дорожного полотна необходимо периодически очистить его от абразивных частиц обломков горной породы;

- поддерживать автосамосвал, в том числе автомобильную шину в надлежащем техническом состоянии согласно требованиям технических условий;

- поддерживать номинальное значение давления воздуха внутри шины путем его саморегулирования с целью уменьшения интенсивности износа рисунка протектора;

- периодически очистить поверхность протектора шины от застрявших в его теле обломков горных пород;

– разработать мероприятия по непрерывному контролю технического состояния автомобиля, качества дороги, надежности водителя и климатических условий с применением современных инновационных технологий.

**Публикации по теме диссертации статьи, опубликованные в научных  
журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики  
Таджикистан**

[1-А]. Умирзоков, А.М. Факторы, влияющие на расход запасных частей в условиях высокогорья / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода, А.А. Саибов, А.Х. Абаев, **А.Л. Бердиев**. // Политехнический вестник ТТУ. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – № 1(45). – С. 183-187.

[2-А]. Умирзоков, А.М. Классификация системы ВАДС / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода, А.А. Саибов, А.Х. Абаев, **А.Л. Бердиев**. // Политехнический вестник ТТУ. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – № 1(45). – С. 187-193.

[3-А]. Умирзоков, А.М. Теоретические предпосылки для обоснования износа автомобильной шины / А.М. Умирзоков, М.Ю. Юнусов, **А.Л. Бердиев** // Политехнический вестник ТТУ. Серия Инженерные исследования. №4 (52) – 2020. Научно-технический журнал ТТУ им. акад. М.С. Осими.- Душанбе, 2020. – С. 78-82.

[4-А]. Умирзоков, А.М. Анализ влияния рельефа местности на функционирование системы водитель-автомобиль-дорога-среда / А.М. Умирзоков, Н.Р. Гоибов, Дж.Х. Аминов, Т.И. Ахунов, **А.Л. Бердиев**, С.С. Сайдуллозода. // Политехнический вестник ТТУ. Серия: Инженерные исследования. 2(54) – 2021. – С. 69-74.

[5-А]. **Бердиев, А. Л.** Энергетический подход при оценке интенсивности износа пневматической шины / А.Л. Бердиев, А.М. Умирзоков // Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз» Таджикского аграрного университета им. Ш. Шотемура. №3(96). – 2022. – С.104-108.

[6-А]. **Бердиев, А. Л.** Применение SADT –моделирования для оценки реализации ресурса шин автосамосвалов в условиях горных карьеров / А.Л.

Бердиев // Политехнический вестник ТТУ. Серия: Инженерные исследования. –1(61) – Душанбе, 2023.– С. 109-119.

### Публикации по теме диссертации

#### Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК РФ

[7-А]. Умирзоков, А.М. Оценка эффективности эксплуатации автомобильной дороги в горных карьерах / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода, **А.Л. Бердиев**. //Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2021. – № 1(132). – С. 98-105. – DOI 10.46960/1816-210X\_2021\_1\_98.

[8-А]. Умирзоков, А.М. Оценка сети автомобильных дорог Республики Таджикистан / А.М. Умирзоков, Н.Р. Гоибов, С.С. Сайдуллозода, **А.Л. Бердиев**. // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2021. – № 3(134). – С. 117-124. – DOI 10.46960/1816-210X\_2021\_3\_117.

[9-А]. Умирзоков, А.М. Особенности механизма изнашивания автомобильных шин в условиях горных карьеров / А.М. Умирзоков, И.П. Трояновская, С.С. Сайдуллозода, **А.Л. Бердиев** // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2022. – № 3(138). – С. 114-123. DOI: 10.46960/1816-210X\_2022\_3\_114.

#### Статьи, опубликованные в зарубежных изданиях, включенных в международные базы цитирования

[10-А]. Umirzokov, A.M., A methodology for evaluating the efficiency of driving a truck / A.M. Umirzokov, K.T. Mambetalin, S.S. Saidullozoda, **A.L. Berdiev** // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, St. Petersburg, 12–13 ноября 2020 года. – St. Petersburg, 2021. – P. 012005. – DOI 10.1088/1757-899X/1086/1/012005. (Web of Science).

#### Статьи, опубликованные в материалах конференции

[11-А]. Убайдуллои М. Особенность эксплуатации шин китайских самосвалов в условиях угольных месторождениях. / М. Убайдулло., Рахмонов Ф. **А. Л. Бердиев** // Материалы III научно-практической конференции

аспирантов, магистрантов и студентов по теме «Наука-основы инновационного развития» ТТУ им. Акад Осими, г. Душанбе, 2018. С. 96-100.

[12-А]. Убайдуллои М. Влияние условий эксплуатации на износ шин карьерных самосвалов / М. Убайдулло, Ф. Рахмонов, **А. Л. Бердиев** // Материалы III научно- практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов “Инженер 2019” Часть 3, ТТУ им. Акад Осими, г. Душанбе, 2019. С. 187-190.

[13-А]. Умирзоков, А.М. Анализ ресурса шин большегрузных автомобилей самосвалов в условиях горных карьеров. / А.М. Умирзоков., М.Ю. Юнусов., **А.Л., Бердиев.**, Б.Ж. Мажитов., А. Б. Ташрипов // «Безопасность движения и инновационные тенденции в транспорте» посвященный памяти профессоров Турсунова А.А., Оева А.М. и Сангинова О.К.– Душанбе, 2020. С. 11-14.

#### **Авторские свидетельства и патенты**

[14-А]. **Бердиев А. Л.** Свидетельство о государственной регистрации информационного ресурса Республики Таджикистан. №ТJ 1390. Устройство для саморегулирования давления воздуха в шине. / А. М. Умирзоков, **А. Л. Бердиев** // Государственное учреждение национальный патентно-информационный центр 02.06.2023.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Абдулаев, Э.К. Анализ и оценка факторов влияющих на ресурс крупногабаритных шин / Э.К. Абдулаев // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2020: Сборник тезисов. Секция «Круглый стол молодых ученых» VII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 23-24 апреля 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2020. – С. 3-5.
2. Абдулаев, Э.К. Экспериментальные исследования зависимости влияния температуры шины на ее свойства / Э.К. Абдулаев, П.Н. Махараткин // Журнал "Горная Промышленность"–2019. – №3 (145). – С.98-99.
3. Абдуллоев, М.А. Анализ отказов автомобильных шин в условиях высокогорья Республики Таджикистан / М.А. Абдуллоев., А.М. Умирзоков, А.А. Соибов, Ф.И. Джобиров., А. Л. Бердиев // Вестник ТТУ. Серия: Инженерные исследования. – 2016. – № 1(33). – С. 36-40.
4. Алаэддин, А.М. Разработка системы оперативного управления ресурсом шин в автотранспортных предприятиях на примере автобуса ЛиАЗ677 / А.М. Алаэддин // Дисс. канд. техн. наук. – М.: МАДИ, 1984. – 202 с
5. Алаэддин, А.М. Исследование абразивного износа шин на различных типах дорожных покрытий / А.М. Алаэддин, М.В. Боровой //Тр. МАДИ. – 1979. – №174. – С. 84 - 91.
6. Андреева, Л.И. Исследование эксплуатационной надежности карьерных автосамосвалов/Л.И. Андреева, Ю.Ю. Ушаков // Известия Уральского государственного горного университета. – 2016. – № 3 (43). – С. 74 -77.
7. Ардеев, К. В. Геофизический мониторинг карьерных дорог с жестким покрытием при разработке полезных ископаемых: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 25.00.16 / К. В. Ардеев. – Кемерово: Кузбас. гос. техн. ун-т., 2006. – 16с.

8. Аринин, И.Н. Техническая эксплуатация автомобилей (управление технической готовностью подвижного состава): учеб. пособие / И.Н. Аринин, С.И. Коновалов, Ю.В. Баженов, А.А. Бочков. – Владимир, 1998. – 220 с.

9. Атлас Узбекской ССР, Киргизской ССР, Таджикской ССР, Туркменской ССР, Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР, Москва, 1988. – 75 с.

10. Бакеев, Р.Б. Проблема определения и корректирования нормативов ресурса автомобильных шин / Р.Б. Бакеев // Проблемы эксплуатации автомобилей, строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин: Межвузовский сборник научных трудов. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет. 2001. – С. 3-5.

11. Бердиев, А. Л. Влияние абразивных обломков горных пород на интенсивность изнашивания шины /А. Л. Бердиев // Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз». Таджикского аграрного университета им. Ш. Шотемура – №2(99) – Душанбе, 2023.– С. 68-77. ISSN 2074-5435

12. Бердиев, А. Л. Применение SADT –моделирования для оценки реализации ресурса шин автосамосвалов в условиях горных карьеров / А.Л. Бердиев // Политехнический вестник ТТУ. Серия: Инженерные исследования. –1(61) – Душанбе, 2023.– С. 94-103.

13. Болдин, А.П. Основы научных исследований и УНИРС: Учебное пособие. Часть 2. Специальные методы и методологические подходы / А.П. Болдин, В.А. Максимов. – М.: МАДИ (ГТУ),2004. –181 с.

14. Бродский, Г.И. Истирание резины / Г.И. Бродский, В.Ф. Евстратов, Н.Л. Сахновский, Л.Д. Слюдиков. – М.: «Химия», 1975. – 239 с.

15. Бродский, Г.И. Характер и интенсивность износа автомобильных шин в зависимости от типа дорожного покрытия/ Г.И. Бродский, В.Ф. Евстратов, П.И. Лохина // Сб. «Фрикционный износ резин». - М.: "Химия", - 1964.– С. 227 – 237.

16. Вахламов, В.К. Автомобили: Эксплуатационные свойства. Учеб. пособие для вузов / В.К. Вахламов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 240 с.
17. Вахрушева, Я.А. Современные тенденции в области морозостойких резин на основе полярных и неполярных каучуков (обзор) / Я.А. Вахрушева, О.Б. Юмашев, А.М. Чайкун. // Труды ВИАМ. – 2022. – № 8 (114). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-8-77-87.
18. Великанов, Д. П. Требования к конструктивным особенностям и типу автомобилей южного и горного исполнения / Д.П. Великанов, А. Ф. Левин // Автомобильный транспорт. – 1977. – №9. – С. 23–26.
19. Великанов, Д.П. Автомобильные транспортные средства / Д.П. Великанов. – М.: Транспорт, 1977. – 326 с.
20. Вентцель, Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: «Советское радио», 1972. – 552 с.
21. Воронков, А.Г. Оценка транспортно – эксплуатационного состояния автомобильной дороги: метод. указания/А.Г. Воронков, К.А. Андрианов – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2008.– 24 с.
22. Гарбер, А. Опыт маршрутного нормирования расхода топлива / А. Гарбер, В. Зотов, А. Ковалев // Автомобильный транспорт. – 1985.– №12. – С.31-32.
23. Гафаров, А.А. Коркард ва истифодаи дубораи шинаҳои воситаҳои нақлиёт / А.А. Гафаров // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2022. – №2(58). С. 135-137.
24. Генкин, И.Л. Энтропия и эволюция Вселенной // Астрономия, методология, мировоззрение. – М., 1979. С. 180 – 186.
25. Горшков, Ю. Г. Обоснование математической модели самоочищаемости пневматических шин / Ю. Г. Горшков, Ю. Б. Четыркин // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 2(65). – С. 192–196.

26. Горшков, Ю.Г. Самоочищаемость пневматических шин транспортных средств – фактор активной безопасности движения / Ю.Г. Горшков // Тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1977. – Вып. 122. – С. 55-62.

27. Горюнов, С. В. Разработка методики прогнозирования долговечности крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов: дисс... канд. техн. наук: 05.05.06. / С. В. Горюнов. - Кемерово, 2021. – 124 с.

28. Горюнов, С.В. Функциональная модель прогнозирования долговечности шин карьерных автосамосвалов / С. В. Горюнов // Известия МГТУ МАМИ. – 2013. – Т. 1. – № 2(16). – С. 149–154.

29. ГОСТ 12536 – 2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М.: Стандартиформ, 2015. – 19 с.

30. ГОСТ 21153.8-88. Метод определения предела прочности при объёмном сжатии. Государственный комитет СССР по стандартам. - М.: Изд-во стандартов, 1988. – 17с.

31. ГОСТ 24104-2001 - Весы лабораторные. Общие технические требования. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. – 5 с.

32. ГОСТ 26585-2003. Шины пневматические крупногабаритные и сверхкрупногабаритные для внедорожных карьерных автомобилей. Технические условия (взамен ГОСТ 26585 – 85). – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 35 с.

33. ГОСТ 30412-96. Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерений неровностей оснований и покрытий. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 9 с.

34. ГОСТ 33242-2015. Весы автоматические для взвешивания транспортных средств в движении и измерения нагрузок на оси. Метрологические и технические требования– М.: Стандартиформ, 2015. – 64с.

35. ГОСТ Р 28243 - 96. Пирометр. Общие технические требования. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. - 13с.

36. ГОСТ Р 51568-99 (ИСО 3310-1-90) Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2000. – 11с.

37. ГОСТ Р 52399 – 2005. Геометрические элементы автомобильных дорог. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2006 – 8с.

38. Государственная целевая программа развития транспортного комплекса Республики Таджикистан до 2025 года (Утверждена постановлением Правительства Республики Таджикистан от 1 апреля 2011 года №165). – г. Душанбе, 2011. – 40 с.

39. Губарев, А.В. Конструирование и расчет наземных транспортно-технологических средств / А.В. Губарев, А.Г. Уланов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 564 с.

40. Гудков, Д.В. Анализ влияния эксплуатационных факторов на пробег автомобильных шин на маршруте/ Д.В. Гудков, В.П. Кубраков, А.А. Ревин // Проблемы шин и автомобиль: мат. 8-го симпозиума. – М.: НИИШП, 1997. - С.148-153.

41. Гудков, В. А. Прогнозирование пробега автомобильных шин в горных условиях эксплуатации / В. А. Гудков, В. Н. Тарновский, Р. М. Устаров // Каучук и резина. – 2011. – № 5. – С. 31-33.

42. Гудков, В.А. Особенности эксплуатации автомобильных шин на горных маршрутах Республики Дагестан / В.А. Гудков, В.Н. Тарновский, Р.М. Устаров // Известия вузов. Северо – Кавказский регион. – 2009. – № 1. – С. 99-101.

43. Давлатшоев, Р.А Повышение тормозных свойств автотранспортных средств в горных условиях эксплуатации: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Р.А. Давлатшоев. – Душанбе, 2007. – 206 с

44. Девятов, М.М. Формирование современных требований к транспортной инфраструктуре сельских муниципальных образований на основе исследования эволюции системы водитель-автомобиль-дорога-среда / М.М. Девятов, А.М. Поляков, Е.В. Столетов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2019. – № 2(75). – С. 80-91.

45. Джобиров, Ф.И. Моделирование ресурса шин грузовых автомобилей в горных условиях при строительстве ГТС / Ф.И. Джобиров // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2021. № 2 (54). – С. 119-123.

46. Дулесов, А.С. Свойства энтропии технической системы / А.С. Дулесов, М.Ю. Семенова, В.И. Хрусталева // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 8-3. – с. 631-636.

47. Еремин, В.М. Концептуальная модель функционирования системы ВАДС как основа компьютерной имитации / Еремин В.М. // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – №1(2), – С. 90-93.

48. Ефанов, А.Н. Оценка эффективности функционирования транспортной системы / А.Н. Ефанов, Н.К. Румянцев // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2012., №1. – С. 154 – 157.

49. Загородний, Н. А. Повышение эффективности эксплуатации автомобилей обеспечением рациональных значений эксплуатационных параметров их шин: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Н.А. Загородний. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2010. - 25 с.

50. Задворнов, В.Н. Прогнозирование износа протектора по жесткостным характеристикам шин / В.Н. Задворнов, Е.В. Балакина, Н.А. Мищенко // Трение и износ. 2020. – Т.41. – С. 485-490.

51. Захаров, Н.С. Влияние условий эксплуатации на долговечность автомобильных шин/ Н.С. Захаров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1997. – 139 с.

52. Захаров, Н.С. Корректирование нормативного ресурса шин с учетом условий эксплуатации (на примере шин автомобилей-такси и маршрутных автобусов): дисс... канд. техн. наук/ Н.С. Захаров. – М.: МАДИ, 1989. -222с.

53. Каспаров, А. А. Повышение ресурса и снижение сопротивления качению крупногабаритных автомобильных шин: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 01.02.06 / А.А. Каспаров. – М.: Науч.-исслед. ин-т шин. пром-сти, 2002. - 25 с.

54. Кнороз, В.И. Работа автомобильной шины / В.И. Кнороз, Е.В. Кленников, И.П. Петров и др. Под ред. В.И. Кнороза. – М.: «Транспорт», 1976. – 238 с.

55. Кнороз, В.И. Шины и колеса/В.И. Кнороз, Е.В. Кленников. –М.: «Машиностроение», 1975. - 184 с.

56. Козлов, В.Г. Влияние погодно-климатических факторов на системы комплекса "водитель-автомобиль-дорога-среда" / В.Г. Козлов, А.В. Скрыпников, М.А. Абасов, В.В. Никитин, В.В. Самцов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 1. – С. 30–36.

57. Колмогоров, А.Н. Теория вероятностей и математическая статистика: Сб. статей / Колмогоров А.Н. – М.: Наука, 1986. – 535 с.

58. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, 1977. - 832с.

59. Кошкина, Е.П. Экспериментальная исследования зависимости влияния температуры шины на её свойства / Е.П. Кошкина, Э.К. Абдулаев, П. Н. Махараткин, Е.В. Пумпур // Горная промышленность. Санкт-Петербургский горный университет, 2019. – № 3 (145). – С. 98-99.

60. Кубраков, В. И. Влияние режимов нагружения и дорожных факторов на износ шин: дисс. ... канд. техн. наук / В. И. Кубраков. - Волгоград, 1995. - 177 с.

61. Курбаков, В. П. Износ шин при движении грузовых автомобилей на подъемах / В. П. Курбаков, В. Н. Тарновский, А. П. Пимкин, Д. В. Гудков //

Эксплуатация транспорта: межвуз. сб. науч. статей; СГТУ. – Саратов, 1996. – С. 11-15.

62. Лахмостов, А.И. Виды износа и разрушения шин / А.И. Лахмостов, А.И. Ушанев // Новая наука: Стратегии и векторы развития. 2017. – Т. 2. – № 2. – С. 130-135.

63. Лель, Ю.И. Карьерные автодороги – их значимость и проблемы совершенствования / Ю.И. Лель, Ю.В. Стенин, А.Г. Колчанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. – № 3. – С. 103–108.

64. Леонович, И. И. Диагностика автомобильных дорог: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» / И. И. Леонович, С. В. Богданович. – Минск: БНТУ, 2012. – 226 с

65. Минаева, Е.М. Анализ ресурса шин грузовых автомобилей и факторов, на него влияющих / Е.М. Минаева, С.Г. Вороненков, Ю.В. Смирняков, Д.И. Ткачев // Новое слово в науке и образовании. – 2021. – С. 50-54.

66. Мирошников, Л.В. Сравнительные дорожные испытания крупногабаритных радиальных и диагональных шин на автомобилях самосвалах БелАЗ / Л.В. Мирошников, А.Г. Нечипоренко и др // «Автомоб. пром-сть». – 1980. – №9. – С. 14 - 16.

67. Определение гранулометрического состава дисперсных материалов: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Оборудование производств редких элементов» для студентов IV курса, обучающихся по специальности 240501 – Химическая технология материалов современной энергетики / сост. А.С. Кантаев, И.Д. Брус. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 12 с.

68. Оценка ровности конструктивных слоёв дорожной одежды универсальной дорожной рейкой: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Технология и организация работ по

строительству дорожной одежды» / сост. Е.В. Андреева. – Омск: СибАДИ, 2011. – 16 с.

69. Резник, Л.Г. Модель принятия решения о необходимости и сроках сезонной замены автошин на основе информации об интенсивности и характере износа протектора / Л.Г. Резник, А.А. Арипова. – Иркутск: Вестник ИрГТУ. – 2014. – №3 (86). – С. 120-124.

70. Ротенберг, Р.В. Основы надежности системы водитель – автомобиль – дорога – среда / Р.В. Ротенберг. – М.: Транспорт, 1986. – 215 с.

71. РТМ 44-62. Методика статистической обработки эмпирических данных. - ВНИИМАШ, 1966. – 100с.

72. Сайдуллозода, С. С. Оценка энергетических затрат автосамосвалов на основе модели их функционирования в горных условиях Республики Таджикистан: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.05.03 / С.С. Сайдуллозода. – Челябинск: Южно-Уральский государственный университет, 2022. - 22 с.

73. Сайдуллозода, С.С. Оценка надежности системы водитель-автомобиль-дорога-среда (ВАДС) в горных условиях / С.С. Сайдуллозода, К.Т. Мамбеталин, А.М. Умирзоков, У.М. Маллабоев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2020. – Т. 20. – №1. – С. 38–46.

74. Сайдуллозода, С.С. Оценка эффективности функционирования системы водитель-автомобиль-дорога-среда по энергетическим показателям / С.С. Сайдуллозода, К.В. Гаврилов, А.М. Умирзоков, А.Г. Уланов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2021. – Т. 21. – №4. – С. 61–70.

75. Синяя книга IRU Международного союза автомобильного транспорта (МСАТ) «Автомобильный транспорт Таджикистана 2008– 2009». – М., 2009. – 163 с.

76. Скворцова, Т. В. Повышение надёжности звена "водитель" в системе "водитель-автомобиль-дорога среда" / Т.В. Скворцова // Воронежский научно-технический Вестник. – 2012. – Т. 1. – № 1. – С. 26-33.

77. Слюдиков, Л. Д. Повышение ресурса автомобильных шин: диссертация ... доктора технических наук: 05.17.12 / Л. Д. Слюдиков – М.: Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М. В. Ломоносова, 1993. – 334 с.

78. СНиП 2.05.07- 91. «Промышленный транспорт» / Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 1996. -112 с.

79. СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 112 с.

80. Справочник химика 21. Химия и химическая технология / Влияние конструктивных параметров шин на износ протектора / [электронный ресурс], – режим доступа: <https://www.chem21.info/info/1680879/> (дата обращения: 10.04.2022).

81. Старунова, И.Н. Обеспечение продольной устойчивости колесных машин при движении по склонам / И.Н. Старунова, А.В. Старунов // Наука (Костанай). – 2017. – № 3. – С. 80 – 84.

82. Суюнтбеков, И.Э. Исследование влияния основных факторов, вызывающих повышенный износ шин автотранспортных средств в горных условиях / И.Э. Суюнтбеков // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. –2011. –№ 3. – С. 81– 86.

83. Таджикистан. Обзор деятельности по борьбе с изменением климата. Доклад. (подготовлена командой экспертов во главе с Джитендра Шах (Jitendra Shah), координатором Департамента устойчивого развития стран Европы и Центральной Азии (ECSSEN) и группой экспертов. – Душанбе, 2013.– 18 с.

84. Турсунов, А.А. Надежность водителя автомобиля в горных условиях / А.А. Турсунов, Я. Юсупов // Труды ТТУ, Серия: Транспорт и дорожное хозяйство, Вып. 2. – Душанбе, 1999. – С. 28–30.

85. Турсунов, А.А. Оценка влияния параметров горной среды на энергетические показатели энергоустановок транспортных машин / А.А. Турсунов, М.А. Абдуллоев, А.М. Умирзоков // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Международной научно-технической конференции. – Тюмень: Тюм ГНГУ, 2010. – С. 330-334.

86. Турсунов, А.А. Управление работоспособностью автомобилей в горных условиях эксплуатации: монография / А.А. Турсунов. – Душанбе: Ирфон, 2003. – 356 с.

87. Турсунов, А.А. Оценка суровости горных условий эксплуатации транспортных систем / А.А. Турсунов, А.М. Умирзоков // Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы развития автомобильного автотранспорта и транспортных коммуникаций в Центрально-азиатском регионе». – Ташкент, 2007. – С. 169-171.

88. Турсунов, А.А. Применение SADT-моделирования в решении задач технической эксплуатации транспортных средств в горных условиях / А.А. Турсунов, А.М. Умирзоков // Научный вестник МГТУ ГА. – 2009. – № 147. – С. 65-71.

89. Умирзоков А. М. Вероятностно-статистическая оценка влияния факторов, влияющих на пробег автомобильных шин в условиях высокогорных карьеров / А.М. Умирзоков, А. А. Саилов, А. Х. Абаев [и др.] // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – № 3(43). – С.

90. Умирзоков А. М. Классификация факторов, влияющих на пробег шин в условиях высокогорных карьеров / А. М. Умирзоков, А. А. Саилов, Ф. И. Джобиров и др. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – № 3(43). – С. 44-48.

91. Умирзоков А.М. Оценка эффективности эксплуатации автомобилей в условиях высокогорья Республики Таджикистан / Умирзоков А.М., Саибов А.А., Мажитов Б. Ж., Бердиев А.Л., Турсунов Ф. А. // Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств: материалы XVIII Междунар. науч. практ. конф. 24 - 25 нояб. 2016 г. – г. Владимир: Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2016. – №2 (54). – 336 с.

92. Умирзоков, А.М. Взаимосвязь температурного состояния и долговечности автомобильных шин / А.М. Умирзоков, А.А. Саибов, М.А. Абдуллоев, Ф.С. Бодурбеков, Ф.И. Джобиров / Вестник ТГУ.– 2015. – №3(31), – С. 132-135.

93. Умирзоков, А.М. Влияние дорожных, климатических и эксплуатационных факторов на долговечность автомобильных шин / А.М. Умирзоков, А.А. Саибов, М.А. Абдуллоев, Ф. Джобиров // Вестник Таджикского технического университета. – 2015. – № 3(31). – С. 89-94.

94. Умирзоков, А.М. К оценке эффективности управления большегрузными автомобилями-самосвалами в горных условиях / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода, У.М. Маллабоев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2020. – №3 (130). – С. 141–148.

95. Умирзоков, А.М. Классификация системы ВАДС / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода, А.А. Саибов, А.Х. Абаев, А.Л. Бердиев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – №1 (45). – С. 171–176.

96. Умирзоков, А.М. Концептуальная модель оценки эффективности системы "водитель-автомобиль-дорога-среда" / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода, А.А. Саибов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2019. – Т. 19. – №1. – С. 37–46.

97. Умирзоков, А.М. Особенности механизма изнашивания автомобильных шин в условиях горных карьеров/А.М. Умирзоков, И.П.

Трояновская, А.Л. Бердиев, С.С. Сайдуллозода // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2022. – № 3(138). – С. 114-123.

98. Умирзоков, А.М. Оценка сети автомобильных дорог Республики Таджикистан / А.М. Умирзоков, Н.Т. Гоибов, С.С. Сайдуллозода, А.Л. Бердиев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. - 2021. - №3 (134). - С. 117–124.

99. Умирзоков, А.М. Оценка формирования ресурса шин грузовых автомобилей в горных условиях при строительстве Рогунской гидроэлектростанции / А.М. Умирзоков, Ф.И. Джобиров, С.С. Сайдуллозода, А.Л. Бердиев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2021. – №4. – С. 396–403.

100. Умирзоков, А.М. Оценка эффективности эксплуатации автомобильной дороги в горных карьерах / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода, А.Л. Бердиев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. –2021. – №1 (132). – С. 98–105.

101. Умирзокова А.М. Моделирование влияния температуры воздуха на интенсивность износа шин / А.М. Умирзоков, А.А. Саилов, А.Л. Бердиев, Ф.И. Джобиров // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Инновационное развитие сельского хозяйства в условиях глобального изменения климата: современное состояние, проблемы и пути их решения». Сборник научных статей. Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур. - Душанбе, 2020. – С. 309-314.

102. Устаров, Р.М. Прогнозирование пробега автомобильных шин, эксплуатируемых в условиях переменного рельефа местности: автореф. дис. ... канд. техн. Наук / Р.М. Устаров. – Волгоград, 2012. - 16 с.

103. Филькин, Н.М. Основы теории исследования эксплуатационных свойств автомобиля / Н.М. Филькин, Р.Ф. Шаихов, И.П. Буянов. – Пермь: ФГБОУ ВО Пермская ГСХА, 2016. – 241 с.

104. Хинчин, А.Я. Понятие энтропии в теории вероятностей // Успехи математических наук. – 1953. – Т. 8. – № 3. – С. 3–20.

105. Хорешок, А.А. Управление ресурсом шин как фактор повышения эффективности работы карьерных автосамосвалов / А.А. Хорешок, А.Г. Кульпин, Е.Е. Кульпина // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – 5. – С. 45–47.

106. Электрические измерения: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.А. Панфилов. – 8-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 288 с.

107. Юнусов, М.Ю. Влияние условий эксплуатации на износ шин карьерных самосвалов / М.Ю. Юнусов, А.Л. Бердиев, Х.Б. Хусейнов, Ф.С. Бодурбеков, Ф.И. Джобиров // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2016. – № 1 (33). – С. 56-64.

108. Юнусов, М.Ю. Особенности эксплуатации шин в условиях переменного рельефа местности строительства Рогунской ГЭС / М.Ю. Юнусов, М. Мамадорифов, Ф.С. Бодурбеков, Х. Хайрулло // Вестник Таджикского технического университета. – 2015. – № 3 (31). – С. 78-80.

109. Abishev, K.K. On the issue of reliability of a motor vehicle driver / K.K. Abishev // Bulletin of SemeyShakarim State University, 2015. – Vol. 2 (70). – pp. 3–6.

110. Bellet, T. Human driver modelling and simulation into a virtual road environment / T. Bellet, P. Mayenobe, J.C. Bornard, J.C. Paris, D. Gruyer, B. Claverie // Human Modelling in Assisted Transportation, 2011. – pp. 251–262.

111. Buss, D. Driver`s reliability and its effect on road traffic safety / D. Buss, K. Abishev, A. Baltabekova // Procedia Computer Science, 2019. – Vol. 149. – pp. 463–466.

112. Dadonov, M. Effect of aerodynamic loads on redistribution of normal reactions of quarry dump trucks tires/ M.Dadonov, A.Kulpin, V.Borovtsov, A. Zhunusbekova // E3S Web of Conferences Electronic edition. – 2020. – DOI: 10.1051/e3sconf/202017403018

113. Danko, D.M. The digital chart of the world project / D.M. Danko // Proceedings of the Eleventh Annual ESRI User Conference. – Environmental Systems Research Institute, 1991. – T. 1. – p. 169.

114. Farahmand, B. Effect of road geometry on driver fatigue in monotonous environments: A simulator study / B. Farahmand, A.M. Boroujerdian // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2018. – Vol. 58. pp. 640–651.

115. Glantz, M. New Hominin Remains from Uzbekistan. / M. Glantz, B. Viola, P. Wrinn, T. Chikisheva, A. Derevianko, A. Krivoshapkin, U. Islamov, R. Suleimanov, T. Ritzman // Journal of Human Evolution. – 2008. – No 55 (2). –pp. 223 – 237.

116. Gnedenko, B.V. Mathematical methods in the theory of reliability/B.V. Gnedenko, Yu.K. Belyaev and A.D. Soloviev. – M.: Nauka, 2010. – p 524

117. Gorshkov, Y.G. Automatic control of air pressure in tires as a way to provide safe movement of wheeled vehicles on slopes / Y.G. Gorshkov, I.N. Starunova, A.A. Kalugin, I.P. Troyanovskaya // Journal of Physics. –2019. – vol. 1177 (1). no. 012004.

118. Gorshkov, Y.G. Investigation of the slope angle influence on the loading imbalance of the wheeled vehicle sides and the change in the center of gravity vector direction / Y.G. Gorshkov, I.N. Starunova, A.A. Kalugin, I.P. Troyanovskaya // Journal of Physics: Conference Series, Nizhny Novgorod, Institute of Physics Publishing, 2019. – pp. 012005.

119. Goryunov, S. The research of operational temperatures of dump trucks tires/S.Goryunov, A.Khoreshok, N.Grigoryeva, E.Preis, O. Alitkina// E3S Web of Conferences. The conference proceedings Sustainable Development of Eurasian Mining Regions: electronic edition. – 2019. – DOI: 10.1051 /e3sconf/201913401014

120. Grafkina, M.V. Ecology and environmental car safety: textbook / M.V. Grafkina, V.A. Mikhailov and K.S. Ivanov. – M.: FORUM. INFRA-M,2016. – p. 320.

121. Graser, A. Processing: A python framework for the seamless integration of geoprocessing tools in QGIS / A. Graser, V. Olaya // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2015. – Т. 4. – №. 4. – pp. 2219-2245.

122. Grinchuk, P.S. Heat exchange with air and temperature profile of a moving oversize tire/P.S.Grinchuk, S.P. Fisenko// Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2016. – No. 6. – C.1369-1373.

123. Gudkov, V.A. Predicting the mileage of motor vehicle tires in mountainous service conditions / V.A. Gudkov, V.N. Tarnovskii, R.M. Ustarov // International Polymer Science and Technology. – 2012. – Vol. 39(5). – pp. 27-29.

124. Hans, J.W. Does driving behavior matter? An analysis of fuel consumption data from heavy-duty trucks / J.W. Hans, S. Morten // Transportation Research Part D: Transport and Environment. – 2015. – Vol. 36. – pp. 107–120.

125. Hastings, David A., and Paula K. Dunbar, 1999. Global Land One-kilometer Base Elevation (GLOBE) Digital Elevation Model, Documentation, Volume 1.0. Key to Geophysical Records Documentation (KGRD)

126. Herman, R. Characterizing Traffic Conditions in Urban Areas / R. Herman, S. Ardekani, Transportation Science, 1984. – Vol. 18(2). – pp. 101–140.

127. <http://www.drillings.ru/abrazivnost>

128. <http://www.drillings.ru/abrazivnost>

129. <https://bigenc.ru/geology/text/2371161>

130. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Гранулометрический состав горных пород](https://ru.wikipedia.org/wiki/Гранулометрический_состав_горных_пород)

131. Ismonzoda S M 2019 Problems of ensuring traffic safety in the Republic of Tajikistan Federal State Government Educational Institution of Higher Education Orel Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after V.V. Lukyanov 1(2)

132. Janssen, W.H. Driver Task Load in Different Road Environments / W.H. Janssen // Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting, 1983. – Vol. 27(4). – pp. 323–323.

133. Jimenez, F. Advanced Driver Assistance System for road environments to improve safety and efficiency / F. Jimenez, J.E. Naranjo, J.J. Anaya, F. García, A. Ponz, J.M. Armingol // *Transportation Research Procedia*, 2016. – Vol. 14. – pp. 2245–2254.

134. Kravchenko, A. Research of dynamics of tire wear of trucks and prognostication of their service life / A. Kravchenko, O. Sakno, A. Lukichov // *Transport Problems*. – 2012. – T. 7. – № 4. – С. 85-94.

135. Likaj, R. Mathematical and computer model of the car driver in a bumpy road / R. Likaj, A. Shala // 15th International Research / Expert Conference” Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, 2011, Prague, Czech Republic, 12-18 September.

136. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center, 325 Broadway, Boulder, Colorado 80303, U.S. A.

137. Nicholas P Patorniti, Nicholas J Stevens and Paul M Salmon 2017 A systems approach to city design: Exploring the compatibility of sociotechnical systems. *Habitat International* 66

138. Novak, M. Challenge of Human Factor Influence for Car Safety / M. Novak, Z. Votruba // *Symposium of Santa Clara on Challenges in Internet and Interdisciplinary Research -SSCCII-2004*.

139. Novak, M. Impacts of Driver Attention Failures on Transport Reliability and Safety and Possibilities of its Minimizing / M. Novak, Z. Votruba, J. Faber // *Lecture at conference SSGRR-2003*.

140. Oron-Gilad, T. Road Environment and Driver Fatigue / T. Oron-Gilad, R. Hancock // *Driving Assesment Conference*, 2005. – Vol. 3. – pp. 318–324.

141. Pressure Pro. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://advantagepressurepro.com/>, свободный

142. Robert, H., *Traffic Dynamics: Analysis of Stability in Car Following* / Robert Herman, Elliott W. Montroll, Renfrey B. Potts, Richard W. Rothery, // *Operations Research*, 1959. – 7(1), pp. 86-106.

143. Ryabchinsky, A. I. Environmental car safety / Ryabchinsky A. I. Trofimenko Yu. V. and Shelmakov S. V. Moscow Automobile and Road Construction Technical University. – Moscow, 2000. – 95 p.

144. Shkrabak, R. Automatic control of air pressure in tires as a factor of safety improvement of wheeled vehicle operation in agricultural sector / R. Shkrabak, A. Kalugin, I. Starunova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2019. – T. 341. – №. 1. – pp. 012126.

145. Starunova, I. N. Ensuring Stability of Wheeled Vehicles When Driving on Slopes / I. N. Starunova, A.V. Starunov, S.Yu. Popova // 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020): Lecture Notes in Mechanical Engineering, Springer International Publishing. – 2021. – pp. 635-642.

146. Umirzokov, A. M. Classification of factors influencing the reliability of the driver-vehicle-road-environment (DVRE) system in the conditions of mountain quarries / A. M. Umirzokov, U. M. Mallaboev, S. S. Saidullozoda, and Kh. Kh. Khabibullozoda // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020.– 817p.

147. Umirzokov, A. M. Conceptual Model of the Estimation of the Efficiency of the Driver-Car-Road-Environment System Bulletin of the Figure 4. The dependence of the efficiency of driving a BelAZ-7540B dump truck on the driver's length of service in mountain conditions / A. M. Umirzokov, K. T. Mambetalin, S. S. Saidullozoda and A. A. Saibov // MTTV 2020 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1086 (2021) 012005 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1086/1/012005 6 South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry 19(1).

148. Umirzokov A.M. Assessment of the resource of elements of transportation machines operated in mining energy enterprises / A.M. Umirzokov, M.A. Abdullo, F.I. Jobirov, S.S. Saidullozoda, A.B. Tashripov, // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 990(1). No. 012063.

149. Zhou, M. A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing / M. Zhou, H. Jin, W. Wang // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2016. – Vol. 49. – pp. 203–218.

ПРИЛОЖЕНИЯ А

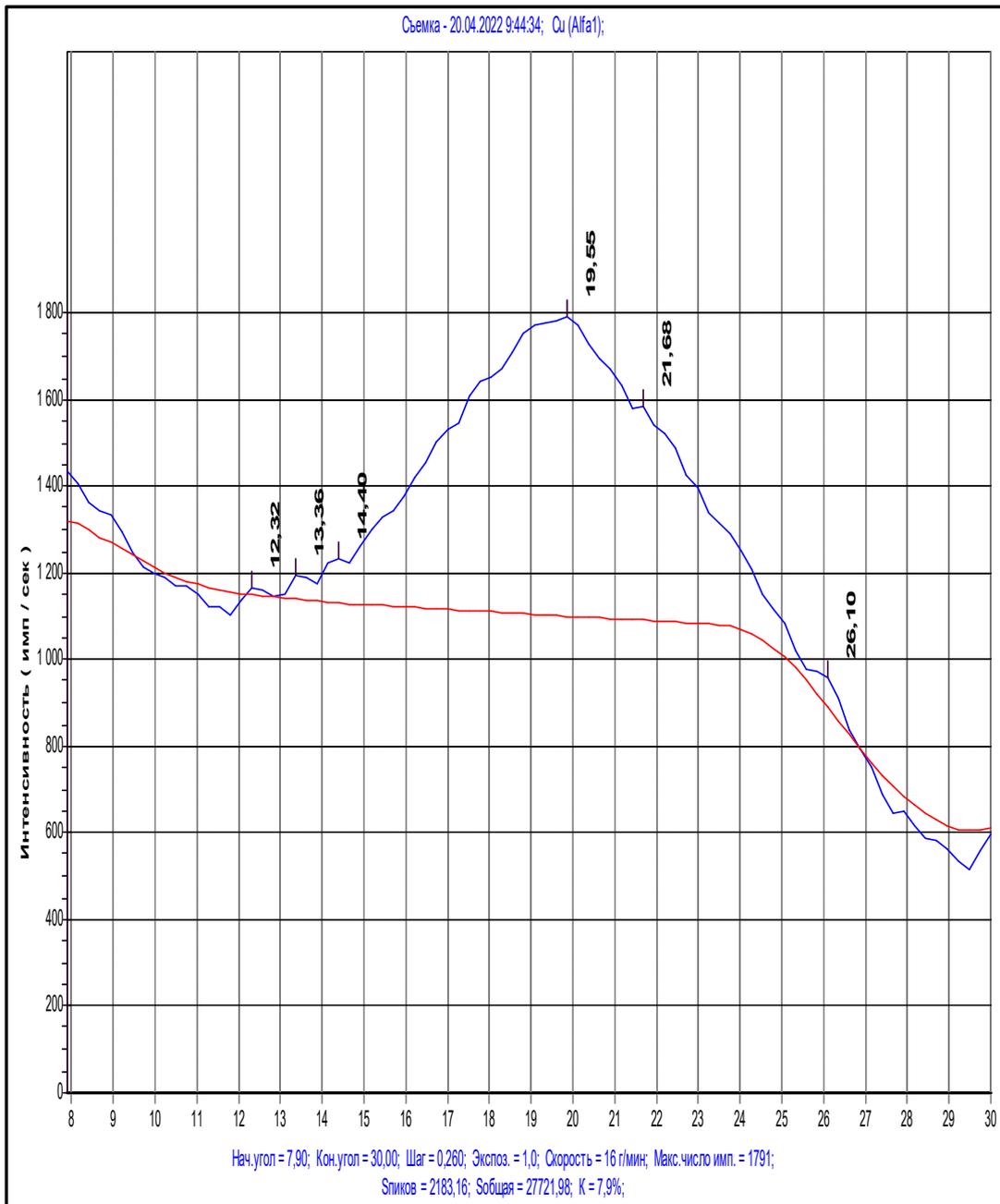


ТАБЛИЦА 1

№ \ (Alfa)	Угол	Площадь	Интенс.	Полушир	Межполс	% Макс	% Площ	Пл/Инт
1	12,320	0,03	14	0,0016	7,1782	3,10	0,00	0,0018
2	13,360	6,83	31	0,2000	6,6216	6,87	0,46	0,2168
3	14,400	169,50	103	1,5230	6,1457	22,84	11,52	1,6505
4	19,555	1471,00	451	3,0106	4,5356	100,00	100,00	3,2625
5	21,680	497,84	325	1,4143	4,0956	72,06	33,84	1,5327
6	26,100	37,96	46	0,7574	3,4112	10,20	2,58	0,8209

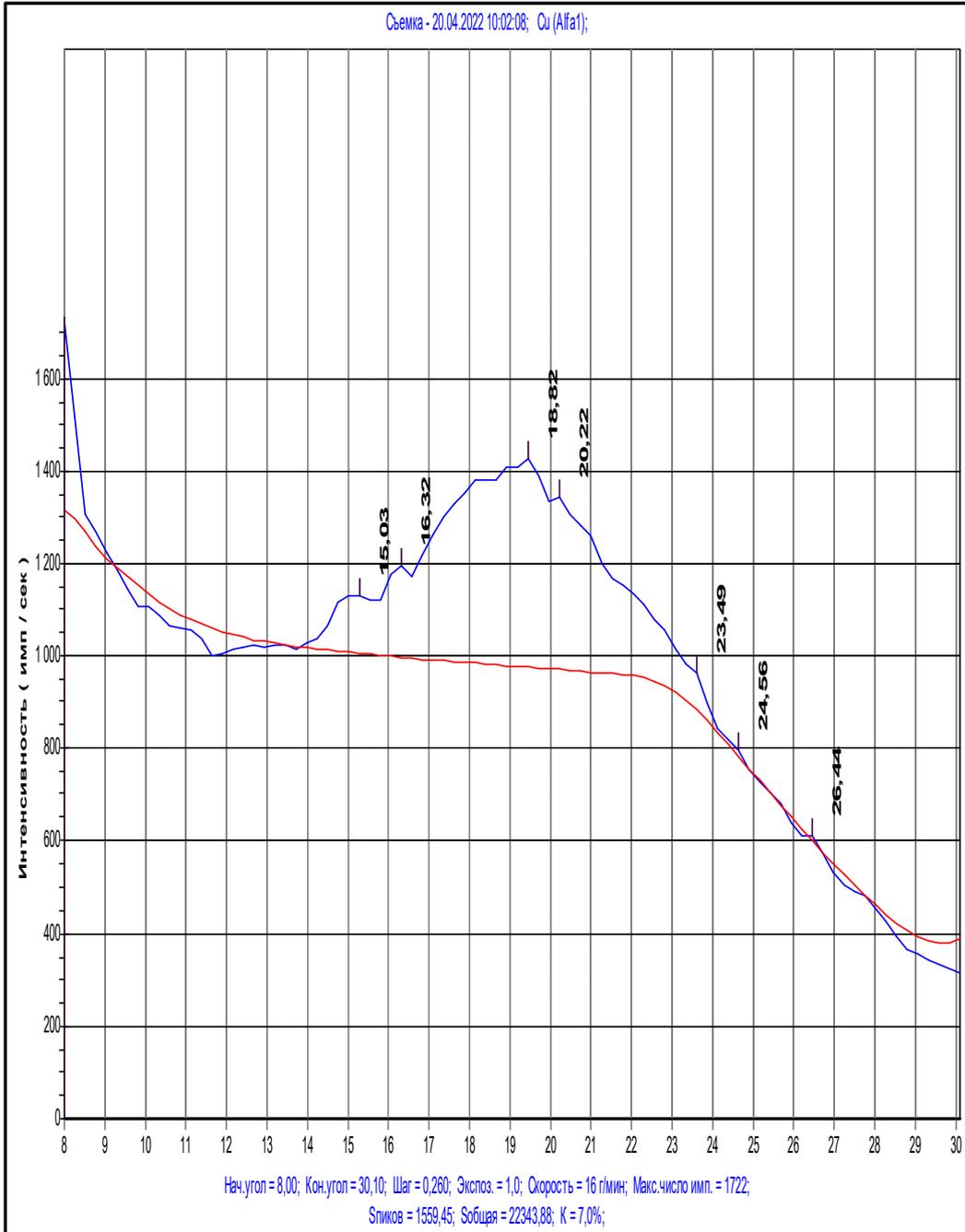


ТАБЛИЦА 1

№ \ (Alfa1)	Угол	Площадь	Интенс.	Полушир	Межполс	% Макс	% Площ	Пл/Инт
1	15,025	74,87	68	1,0120	5,8914	3,46	8,66	1,0967
2	16,320	239,11	147	1,4960	5,4267	7,48	27,65	1,6212
3	18,825	864,66	189	4,2218	4,7099	9,62	100,00	4,5749
4	20,220	343,31	222	1,4274	4,3880	11,30	39,70	1,5469
5	23,485	29,48	51	0,5293	3,7847	2,60	3,41	0,5736

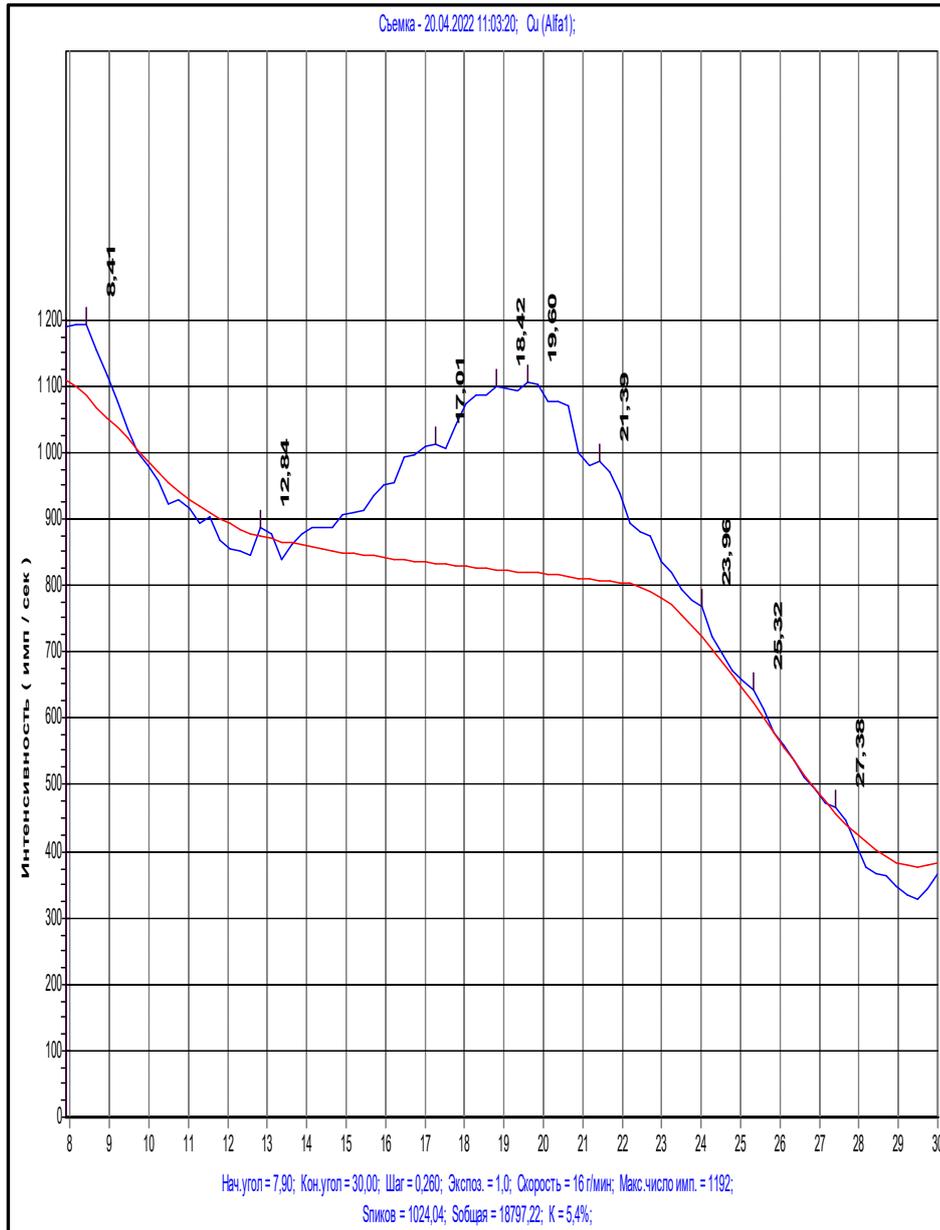


ТАБЛИЦА 2

№ \ (Alfa)	Угол	Площадь	Интенс.	Полушир	Межполоск	% Макс	% Площ	Пл/Инт
1	8,408	90,28	70	1,1862	10,5076	3,42	24,53	1,2856
2	12,840	0,02	13	0,0016	6,8886	0,64	0,01	0,0018
3	17,015	215,83	102	1,9544	5,2066	4,99	58,65	2,1179
4	18,425	182,30	94	1,7993	4,8112	4,60	49,54	1,9498
5	19,600	367,99	152	2,2272	4,5253	7,43	100,00	2,4134
6	21,395	140,78	97	1,3391	4,1496	4,74	38,26	1,4512
7	23,957	13,67	25	0,4963	3,7112	1,22	3,72	0,5379
8	25,320	9,49	14	0,6107	3,5145	0,68	2,58	0,6619

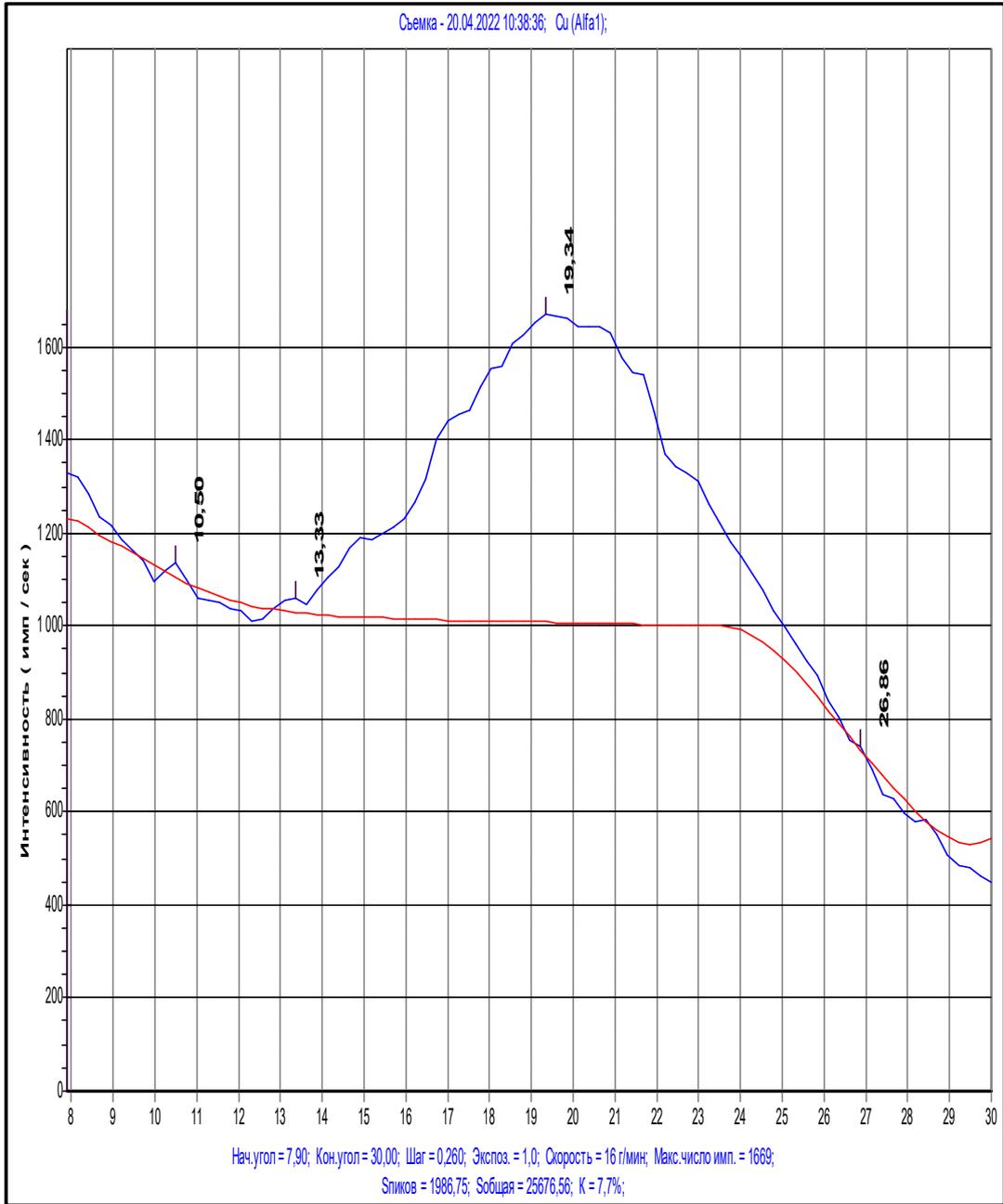


ТАБЛИЦА 1

№ \ (Alfa)	Угол	Площадь	Интенс.	Полушир	Межполск	% Макс	% Площ	Пл/Инт
1	10,500	0,05	29	0,0016	8,4179	1,91	0,00	0,0018
2	13,326	15,44	23	0,6247	6,6385	1,51	0,78	0,6770
3	19,340	1968,53	532	3,4140	4,5856	35,02	100,00	3,6995
4	26,857	2,73	1519	0,0016	3,3167	100,00	0,14	0,0018

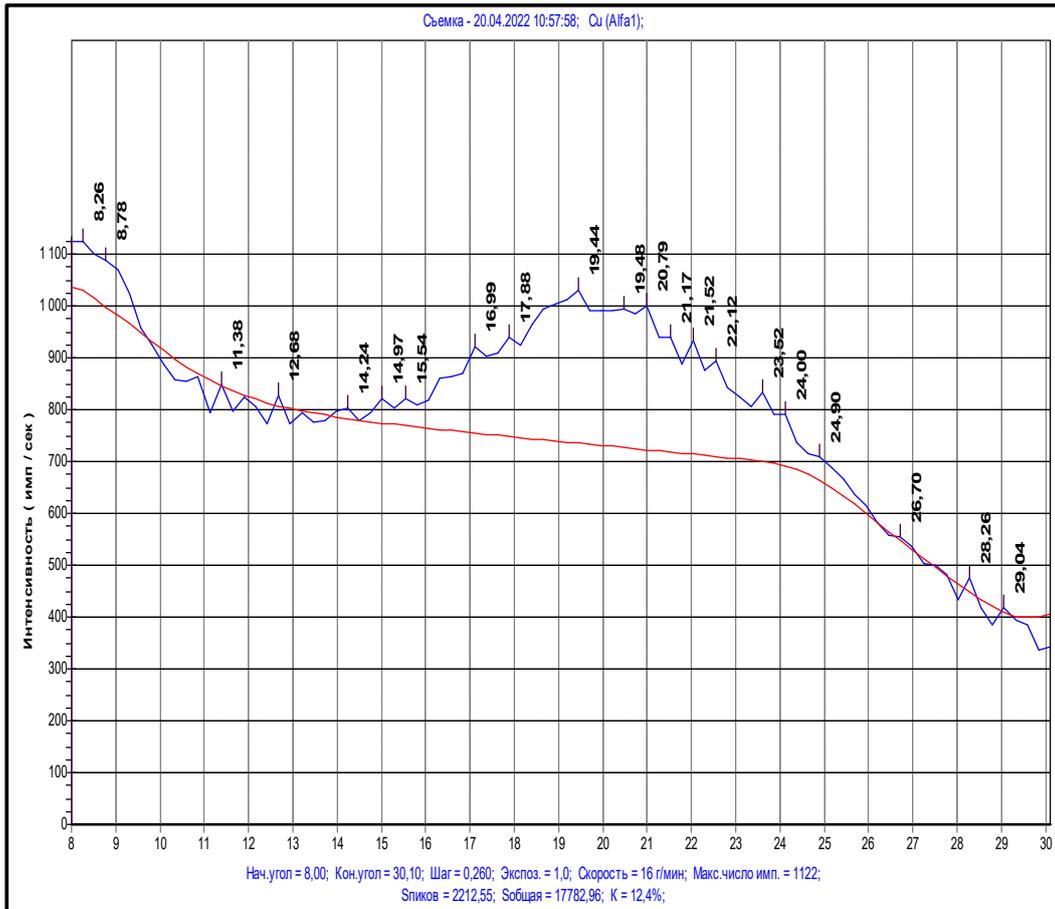


ТАБЛИЦА 2

№ \ (Alfa)	Угол	Площадь	Интенс.	Полушир	Межполск	% Макс	% Площ	Пл/Инт
1	8,255	0,80	94	0,0077	10,7015	1,40	0,11	0,0086
2	8,780	107,22	62	1,5931	10,0628	0,92	14,90	1,7265
3	11,380	0,01	4	0,0016	7,7689	0,06	0,00	0,0018
4	12,680	0,04	20	0,0016	6,9752	0,30	0,01	0,0018
5	14,240	0,04	19	0,0019	6,2143	0,28	0,01	0,0022
6	14,968	8,82	15	0,5361	5,9137	0,22	1,23	0,5810
7	15,540	10,68	21	0,4648	5,6973	0,31	1,48	0,5039
8	16,993	79,36	53	1,3870	5,2131	0,79	11,03	1,5031
9	17,880	153,53	86	1,6483	4,9566	1,28	21,33	1,7863
10	19,440	407,16	152	2,4648	4,5622	2,27	56,58	2,6709
11	19,485	19,10	56	0,3142	4,5518	0,83	2,65	0,3406
12	20,790	719,62	149	4,4491	4,2689	2,22	100,00	4,8211
13	21,175	38,94	66	0,5444	4,1922	0,98	5,41	0,5901
14	21,520	55,04	40	1,2825	4,1257	0,60	7,65	1,3898
15	22,125	483,20	121	3,6742	4,0143	1,80	67,15	3,9814
16	23,519	14,46	51	0,2611	3,7794	0,76	2,01	0,2830
17	24,000	60,08	64	0,8604	3,7047	0,95	8,35	0,9325

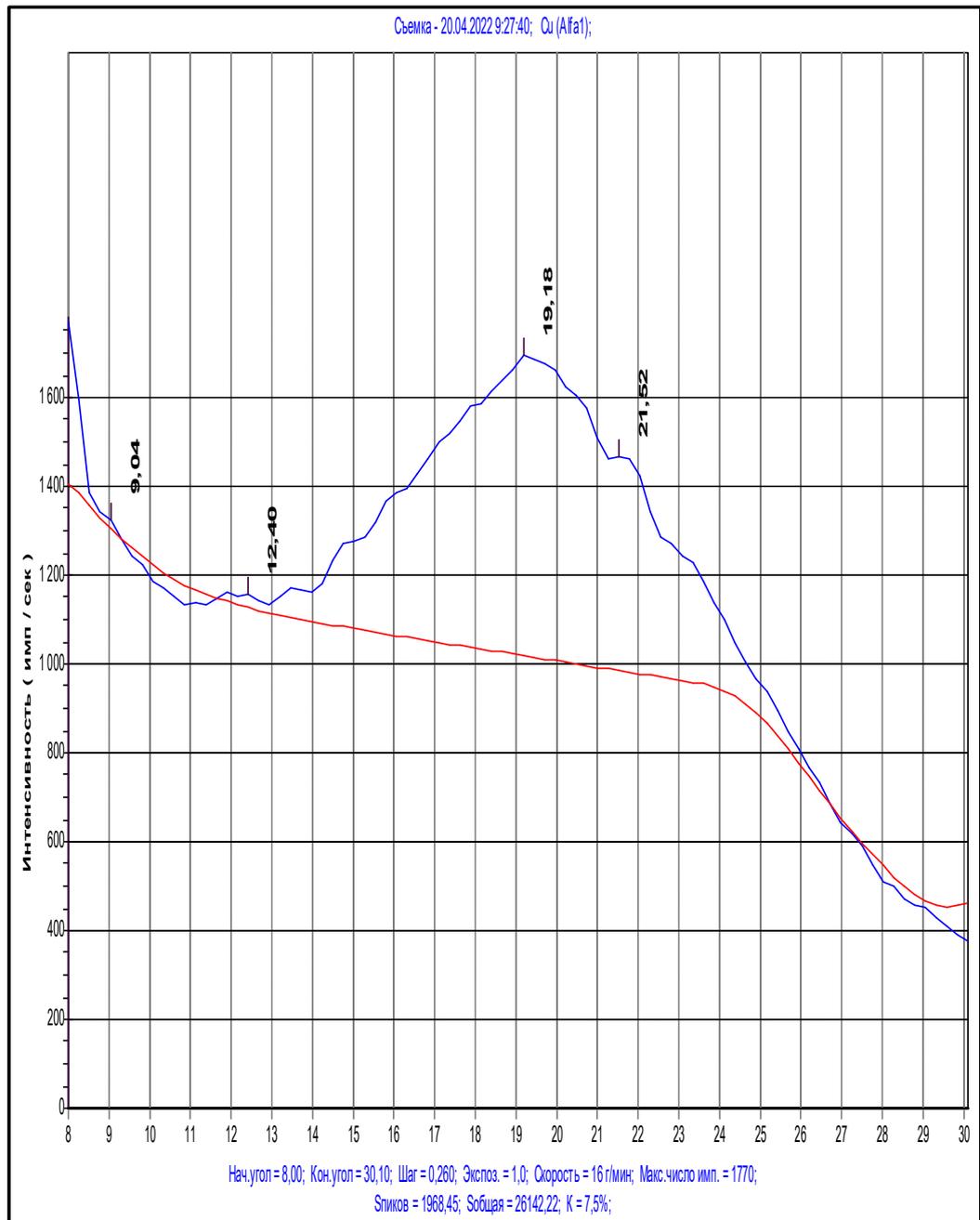


ТАБЛИЦА 1

№ \ (Alpha)	Угол	Площадь	Интенс.	Полушир	Межполс	% Макс	% Площ	Пл/Инт
1	9,039	0,30	23	0,0121	9,7748	5,20	0,02	0,0132
2	12,405	15,31	20	0,7058	7,1294	4,52	1,01	0,7649
3	19,180	1511,42	442	3,1546	4,6235	100,00	100,00	3,4185
4	21,520	441,43	288	1,4143	4,1257	65,16	29,21	1,5327

## ПРИЛОЖЕНИЯ Б

ЧАМБИЯТИ САҶОМИИ КУШОДАИ  
«ШАБАКАҲОИ ТАҚСИМОТИ БАРҚ»



OPEN JOINT STOCK COMPANY  
«SHABAKANOI TAQSIMOTI BARQ»

734026 ш. Душанбе, хиёбони Исмоили Сомонӣ-64, Тел: +992 372 50-33-01, Факс: 295-591  
РЯМ №0410036257, РМА №040058284 / Сомона: www.shtb.tj Почта: taqsimoti.barq@gmail.com

№ 21/1922-15386 аз 01.06.23

Ба № \_\_\_\_\_ АКТ

**внедрения результатов исследований соискателя кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими Бердиева Алишера Лугмоновича**

Наименование работы: «Оценка влияния элементов системы водитель-автомобиль-дорога-среда на ресурс шин автосамосвалов в горных карьерах».

Управление отделе транспорта АОО «Шабаканои тақсимоти барқ» при Министерстве энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан рассмотрел результаты исследований соискателя Бердиева А.Л. и оценил их как научное достижение, имеющее практическую ценность для оценки влияния элементов системы водитель-автомобиль-дорога-среда на ресурс шин автосамосвалов в горных карьерах для решения вопросов эффективности транспортного процесса в условиях Республики Таджикистан.

В исследованиях по оценке влияния элементов системы водитель-автомобиль-дорога-среда на реализацию ресурс шин автосамосвалов в горных карьерах применялись методы математического моделирования моделей с целью оценки и обоснования удельного износа протекторной резины, отнесенного к энергетическим параметрам автомобилей, обуславливающего реализацию ресурса пневматических в условиях горных карьеров угольных месторождений.

Основные моменты научной работы соискателя Бердиева А.Л. по оценке влияния элементов системы водитель-автомобиль-дорога-среда на ресурс шин автосамосвалов в горных карьерах обсуждались на техническом совете отделе транспорта АОО «Шабаканои тақсимоти барқ» при Министерстве энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан и позволяют осуществлять более адекватно обосновывать реализацию ресурса шин автосамосвалов в условиях высокой абразивности карьерной дороги.

Результаты исследований Бердиева Алишера Лугмоновича имеют важное научное и практическое значения и могут быть использованы для уточнения влияние элементов системы ВАДС и различных их сочетаний на реализацию ресурса шин автосамосвалов в горных карьерных условиях на основе использования разработанных коэффициентов, учитывающих эффективность функционирования системы ВАДС и ее влияние на реализацию ресурса пневматических шин.

**Начальник отделе транспорта**

АОО «Шабаканои тақсимоти барқ»

(подпись)

Джаборов Ш. У.

Подпись Джаборова Ш. У. заверяю:

Начальник отдела кадров



## ПРИЛОЖЕНИЯ В

**УТВЕРЖДАЮ**  
 Ректор ТГУ им. акад. М. С. Осими  
 д.э.н., профессор  
 Давлатзода К. К.  
 « 25 » 2023 г.


**АКТ**

**о внедрении в Таджикском техническом университете имени академика М. С. Осими результатов диссертационной работы соискателя кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» факультета «Транспорт и дорожная инфраструктура» Бердиева Алишера Лугмоновича**

Настоящим удостоверяем, что результаты диссертационной работы соискателя Бердиева Алишера Лугмоновича «Оценка влияния элементов системы водитель-автомобиль-дорога-среда на ресурс шин автосамосвалов в горных карьерах» внедрены в учебный процесс кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» и кафедры «Строительство дорог, сооружений и транспортные коммуникации» путем использования материалов кандидатской диссертации при разработке учебных курсов для подготовки бакалавров по направлениям 1-370105-02 - «Автомобили и автомобильное хозяйство», 1-370106-01 - «Техническая эксплуатация автомобилей (автомобильный транспорт общественного и личного пользования)», 1-440302 – «Организация дорожного движения» и 1-70030101 – «Строительство дорог и аэродромов».

Декан факультета  
 «Транспорт и дорожная  
 инфраструктура» к.т.н., доцент  Давлатшоев Р. А.

Зав. кафедрой «ЭАТ»  
 к.т.н., и.о. доцента  Тошев Дж. Ш.

<p>ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН</p>		<p>ИДОРАИ ПАТЕНТӢ</p>	
<p><b>НАХУСПАТЕНТ</b></p>			
<p>№ ТҶ 1390</p>			
<p><b>БА ИХТИРОИ</b></p>			
<p><i>Дастгоҳ барои худтанзимтаврии фирори хаво дар шина</i></p>			
<p>Дорандаи нахустпатент</p>	<p>Умирзоқов Аҳмад Маллабобоевич, Бердиев Алишер Луғмонович</p>		
<p>Сарзамин</p>	<p>Ҷумҳурии Тоҷикистон</p>		
<p>Муаллиф(он)</p>	<p>Умирзоқов Аҳмад Маллабобоевич, Бердиев Алишер Луғмонович</p>		
<p>Аввалияти ихтироъ</p>	<p>27.02.2023</p>		
<p>Таърихи рузи пешниҳоди ариза</p>	<p>27.02.2023</p>		
<p>Ариза</p>	<p>№ 2301805</p>		
<p>Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои</p>			
<p>Ҷумҳурии Тоҷикистон</p>	<p>2-июни</p>	<p>с. 2023</p>	<p>ба қайд гирифта шуд</p>
<p>Нахустпатент</p>			
<p>эътибор дорад аз 27 феввали</p>	<p>с. 2023</p>	<p>то 27 феввали</p>	<p>с. 2033</p>
	<p>ДИРЕКТОР</p>		<p>Исмоилзода М.</p>