

**Министерство образования и науки Республики Таджикистан**

**Таджикский технический университет**

**имени академика М. С. Осими**

На правах рукописи

Джобиров Фируз Изатуллоевич

**КОРРЕКТИРОВАНИЕ НОРМАТИВОВ РЕСУРСА ШИН ГРУЗОВЫХ  
АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ  
СООРУЖЕНИЙ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ  
(НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА РОГУНСКОЙ ГЭС)**

05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

**Научный руководитель:**

кандидат технических наук, доцент

Абдулло Мамадамон Абдурахмонбек

(Абдуллоев Мамадамон Абдурахмонбекович)

Душанбе – 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	11
1.1. Корректирование нормы пробега шин грузовых автомобилей в условиях строительства ГТС.....	11
1.2. Классификация факторов, влияющих на ресурс шин грузовых автомобилей в горных условиях.....	15
1.3. Влияние основных факторов на надежность и долговечность шин грузовых автомобилей в горных условиях.....	20
1.3.1. Влияние дорожных условий на ресурс шин грузовых автомобилей.....	20
1.3.2. Влияние температуры окружающей среды на формирование ресурса шин грузовых автомобилей в горных условиях.....	26
1.3.3. Влияние отклонения давления внутри шины на её ресурс.....	30
1.3.4. Анализ влияния нагрузочных и скоростных режимов на ресурс шин.....	31
1.3.5. Влияние мастерства вождения на ресурс шин грузовых автомобилей.....	34
1.4. Анализ отказов шин грузовых автомобилей в условиях строительства ГТС.....	36
1.5. Постановка вопроса и задачи исследования.....	40
2. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	42
2.1. Отбор основных факторов, влияющих на ресурс шин грузовых автомобилей в условиях строительства ГТС.....	42
2.1.1. Методика отбора факторов.....	44
2.1.2. Предварительный отбор факторов.....	45
2.1.3. Выбор и обоснование показателей факторов.....	47
2.1.4. Оценка тесноты связи между факторами горных условий эксплуатации с ресурсом шин.....	49
2.2. Разработка математических моделей влияния условий эксплуатации на ресурс шин.....	53
2.2.1. Разработка математической модели влияния дорожных условий на ресурс шин.....	53

2.2.2. Моделирование влияния температуры воздуха на формирование ресурса шин грузовых автомобилей в горных условиях.....	57
2.2.3. Моделирование влияния нагрузочных режимов на ресурс шин грузовых автомобилей.....	63
2.2.4. Моделирование комплексного влияния факторов на формирование ресурса шин грузовых автомобилей в условиях строительства ГТС.....	67
2.3. Вероятностно-статистическая оценка влияния факторов, влияющих на пробег автомобильных шин в условиях строительства ГТС.....	71
2.4. Методы корректирования нормативов ресурса шин .....	76
2.5. Выводы по главе 2.....	80
<b>3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>82</b>
3.1. Цель и задачи экспериментальных исследований.....	82
3.2 Анализ существующих методик экспериментального определения ресурса шин грузовых автомобилей.....	83
3.3. Методика экспериментальных исследований влияния факторов на ресурс шин грузовых автомобилей в условиях строительства ГТС.....	88
3.3.1. Методика экспериментальных исследований по измерению износа рисунка протектора шин грузовых автомобилей.....	88
3.3.2. Методика экспериментальных исследований влияния дорожных условий на ресурс шин грузовых автомобилей.....	89
3.3.3. Методика экспериментальных исследований влияния температуры на ресурс шин грузовых автомобилей.....	92
3.3.4. Методика экспериментальных исследований влияния радиальной нагрузки на ресурс шин грузовых автомобилей.....	97
3.3.5. Методика экспериментальных исследований комплексного влияния факторов на формирование ресурса шин грузовых автомобилей.....	99
3.4. Оценка погрешности измерения.....	101
<b>4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА РЕСУРС ШИН ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И ИХ АНАЛИЗ.....</b>	<b>105</b>

4.1. Анализ влияния значимых факторов на формирование ресурса шин грузовых автомобилей в условиях строительства ГТС.....	105
4.2. Вероятностно-статистический анализ внешних воздействий на ресурс шин грузовых автомобилей в условиях строительства ГТС.....	106
4.3. Спектральный анализ показателей, обуславливающих ресурс шин грузовых автомобилей.....	108
4.4. Анализ совместного влияния факторов на формирование ресурса шин грузовых автомобилей.....	110
4.5. Анализ вероятностно-статистических характеристик факторов, формирующих ресурс шин грузовых автомобилей, эксплуатируемых в условиях строительства ГТС.....	114
4.6. Сравнение теоретических и экспериментальных значений коэффициентов корректирования нормативов ресурса шин грузовых автомобилей.....	122
4.7. Расчет экономического эффекта от использования результатов исследований.....	127
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ.....	132
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	134
СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....	135
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	136
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	146

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Автомобильный транспорт имеет первостепенное значение для народного хозяйства Республики Таджикистан (РТ) и занимает незаменимое положение по объемам перевозок в сравнении с воздушным, железнодорожным транспортом в горных условиях. В суровых горных условиях эксплуатации РТ карьерные автомобили остаются единственно оправдавшими себя транспортными средствами для выполнения грузоперевозок в строительстве гидротехнических сооружений (ГТС). Условия эксплуатации карьерных автомобилей в республике характеризуются экстремальными дорожными условиями, значительными перепадами высот над уровнем моря и изменчивостью метеоусловий (нормы годовых осадков, температуры воздуха, влажности и т.д.) на относительно небольших расстояниях, а также относительно короткой продолжительностью светового дня в горах.

Любые отказы автомобильных шин в сложных условиях горных карьеров, в т. ч. интенсивный износ протектора шины и механические повреждения связаны динамизмом процессов взаимодействия шин с карьерной дорогой. А динамизм процессов взаимодействия шины с дорогой является следствием тяжести и суровости условий эксплуатации грузовых автомобилей в горных карьерах. Динамизм процессов взаимодействия шин с дорогой в горных карьерах характеризуется частотой изменения точек приложения, направлений и модулей сил, приложенных к шинам. Кроме этого, из-за неровностей карьерных дорог наблюдается неравномерное распределение радиальных сил по колесам. Из-за частых маневров резко повышается тяжесть условий эксплуатации шин передних колес карьерных автомобилей.

Другим фактором, обуславливающим тяжесть условий эксплуатации грузовых автомобилей в условиях горных карьеров, можно считать неравномерное распределение груза в кузове автомобиля и его перераспределение по кузову в процессе транспортировки из-за неровности дороги и частых маневров. Вследствие перераспределения груза в кузове автомобиля в процессе транспортировки из-за неровности дороги и частых маневров наблюдается

многократное смещение фактического центра тяжести насыпного груза от расчетного, в свою очередь, приводящее к изменению центра тяжести автомобиля в целом. Частота, направление и величина смещения фактического центра тяжести насыпного груза от расчетного при этом имеет вероятностный характер.

С ресурсом шин автомобилей связаны не только эксплуатационные затраты экологических показателей их эксплуатации, а также производительность грузоперевозок, как основополагающего показателя эффективности работы карьерных автосамосвалов.

Условия эксплуатации грузовых автомобилей в горных условиях отличаются сложностью и изменяются в широких пределах, что отрицательно влияет на нормальное протекание процессов в контакте автомобильной шины с дорожным полотном [1, 2]. Последнее характеризуется неоднозначностью, повышенным динамизмом и вероятностной природой процессов, обуславливающих снижение ресурса шин, которое зависит от особенностей условий эксплуатации грузовых автомобилей в горных карьерных дорогах строительства ГТС.

Ускоренный износ шины и, как следствие, снижение их ресурса характерно для неудовлетворительного качества дорожного полотна, сложной геометрии дороги, нагрузочной и скоростной режимов движения автомобилей.

Таким образом, реальный ресурс автомобильной шины в этих условиях обуславливает оценку их долговечности и разработки нормативных ресурсов шин автомобилей-самосвалов в горных условиях строительства ГТС.

Существует методика корректирования ресурса шин, предложенная профессором Захаровым Н.С., которая используется для определения норм пробега шин автомобилей-самосвалов в прочих условиях эксплуатации. В данной методике в достаточной мере не освещены вопросы нормирования ресурса шин грузовых автомобилей (ШГА) при строительстве ГТС в горных условиях. Это обстоятельство создает определенные трудности при планировании трудовых, материальных, денежных, энергетических и прочих затрат, связанных с эксплуатацией автомобильных шин при строительстве ГТС в горных условиях.

В связи с этим исследование, направленное на корректирование норм пробега шин автомобилей-самосвалов при строительстве ГТС (на примере строительства Рогунской ГЭС) в горных условиях, является актуальным.

**Цель работы.** Снижение затрат на автомобильные шины на основе более полного использования их ресурса путем усовершенствования и внедрения методики корректирования нормативов их ресурса для горных условий строительства ГТС.

Для достижения указанной цели решаются следующие **задачи**:

- классификация факторов, влияющих на ресурс шин грузовых автомобилей в горных условиях при строительстве ГТС;
- выбор и обоснование наиболее значимых факторов, формирующих ресурс шин грузовых автомобилей с учетом условий эксплуатации;
- разработка математической модели для корректирования нормативов ресурса шин;
- обоснование числовых значений коэффициентов корректирования нормативов ресурса шин;
- обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований и разработка практических рекомендаций по реализации реальных ресурсов шин грузовых автомобилей с учетом влияния значимых факторов.

**Объект исследования** – процесс установления нормативного пробега шин грузовых автомобилей, эксплуатируемых в условиях строительства Рогунской ГЭС.

**Предмет исследований** – Закономерности влияния значимых факторов на долговечность шин грузовых автомобилей в горных условиях их эксплуатации.

**Научная новизна:**

- разработана подробная классификационная схема влияния факторов на формирование ресурса шин грузовых автомобилей в горных условиях строительства ГТС;
- установлены закономерности влияния основных факторов на ресурс шин в условиях строительства ГТС;

– уточнена методика комплексной оценки ресурса шин под влиянием сочетания различных факторов;

– усовершенствована методика корректирования норм пробега шин грузовых автомобилей в условиях горных карьеров.

**Практическая значимость работы.** Результаты исследования имеют прикладной характер и могут быть использованы при эксплуатации грузовых автомобилей в горных условиях для корректирования нормативов ресурса шин. Использованные в диссертации подходы, модели и методы ориентированы на практическое применение результатов исследования и расширяют возможности уточнения фактического ресурса шин карьерных самосвалов, эксплуатируемых в горных карьерных условиях. Внедрение результатов исследования позволяет дифференцированно корректировать ресурс шин грузовых автомобилей с учетом особенностей условий эксплуатации грузовых автомобилей в горных карьерах.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Научно обоснованная систематизированная классификационная схема влияния факторов на формирование ресурса шин автомобилей-самосвалов в горных условиях.

2. Теоретически обоснованные и экспериментально проверенные аналитические выражения, характеризующие влияние факторов на формирование ресурса шин грузовых автомобилей в условиях строительства ГТС.

3. Моделирование процесса формирования ресурса шин с учётом вероятностной природы внешних факторов.

4. Результаты расчёта и обоснование коэффициентов корректирования нормативного ресурса шин с учётом внешних факторов.

5. Обобщенные результаты теоретических и экспериментальных исследований ресурса шин грузовых автомобилей в условиях строительства ГТС.

**Апробация работы.** Основные теоретические положения, практические рекомендации и результаты исследований доложены и одобрены:

- в материалах республиканской конференции “Основные задачи материаловедения в машиностроении и методика их преподавания”, посвященной

20-летию 16-ой сессии Верховного Совета РТ и 15-летию Дня Национального единства. – Душанбе. Таджикский Государственный педагогический университет им. С. Айни, 12–13 июня 2012 г. (2 статьи);

– в материалах Республиканской научно-практической конференции «Проблемы развития транспортной системы Республики Таджикистан». 12–13 декабря 2012 г.;

– в материалах Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Новые технологии нефтегазовому региону". Том II – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014 г.;

– в материалах международной научно-технической конференции кафедры «Автомобили, тракторы и технический сервис» Института технических систем, сервиса и энергетики. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2015. – 225 с.;

– в материалах III Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования» ТГУ им. акад. М.С. Осими (2 статьи);

– в материалах Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов. – Тюменский индустриальный университет, 2018. (2 статьи);

– в материалах научно-теоретической конференции профессорско-преподавательского состава и сотрудников Таджикского национального университета, посвященной 70-ой годовщине Таджикского национального университета. – Душанбе, 2018 г.;

– в материалах 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.Шотемура. – г. Душанбе, 2020.

– в материалах II Международной научно-технической конференции «SMART ENERGY SYSTEMS 2021» SES-2021.

**Реализация результатов исследований.** Результаты исследования применяются на практике в ОАО «РОГУНСКАЯ ГЭС» при корректировании норм пробега шин автомобилей-самосвалов.

Содержащиеся в диссертационной работе конкретные рекомендации по корректированию ресурса шин способствуют оценить эффективность их эксплуатации в реальных условиях в строительстве ГЭС.

Результаты исследований используются в организации учебного процесса в Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими.

Диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы по проблемам эксплуатации шин в условиях строительства Рогунской ГЭС.

**Публикации.** По результатам, полученным при выполнении диссертационной работы, опубликована 22 научная статья, в том числе 5 статей в изданиях перечня ВАК РТ и ВАК РФ, 2 статьи в библиографической базе данных Scopus и Web of Science а также 1 патент РТ. В опубликованных работах автору принадлежат основные идеи, результаты теоретических и экспериментальных исследований, выводы и предложения.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Основной текст диссертационной работы размещен на 146 страницах, включает 13 таблицы, 45 рисунков. Список литературы включает 123 наименований.

**Личный вклад автора заключается в:** постановке цели и задач исследования; в уточнении методики корректирования нормативов ресурса шин с учетом особенностей условий эксплуатации грузовых автомобилей в горных карьерах; обосновании сочетаний значимых факторов для более полной реализации ресурса шин; в проведении исследований факторов, влияющих на ресурс шин; в разработке рекомендаций по уточнению нормативов ресурса шин автомобилей-самосвалов в горных условиях.

# 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

## 1.1 Корректирование нормы пробега шин грузовых автомобилей в условиях строительства ГТС

Под корректировкой нормативного ресурса шин крупнотоннажных автомобилей имеется в виду срок их службы до полного износа рисунка протектора или отказа их из-за механических повреждений [3, 4].

Срок службы автомобильной шины – это время, выраженное в единицах пробега, в течение которого она может работать в заданных условиях эксплуатации с соблюдением требуемых технических условий [5].

Отказ грузовых шин по причине полного износа рисунка протектора при достижении нормативного пробега считается нормальным при возможности продления срока службы путем восстановления рисунка протектора [6].

Изнашивание – это процесс разрушения и отделения материала с поверхности протектора шины и накопления его остаточной деформации при трении, проявляющейся в постепенном изменении его размеров и формы [7, 8].

Износ протектора шины является конечным результатом изнашивания, который выражен в единицах высоты протектора до допустимых величин [6, 8].

Условия эксплуатации крупнотоннажных автомобилей в горных карьерах строительства ГТС (Рогунской ГЭС) значительно отличаются от нормальных и относятся к категории суровой [1].

Суровость среди эксплуатации грузовых автомобилей в горных дорогах РТ характеризуется экстремальными дорожными условиями, значительными перепадами высот над уровнем моря и изменчивостью метеоусловий (нормы годовых осадков, температуры воздуха, влажности и т.д.) на относительно небольших расстояниях, а также относительно короткой продолжительностью светового дня в горах [2, 9]. Суровые условия эксплуатации автомобилей в горных карьерах строительства ГТС в РТ способствуют значительному снижению нормативного ресурса автомобильных шин.

Факторы, формирующие условия эксплуатации автомобилей, можно разделить на две большие группы: дорожные и природно-климатические (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Факторы внешней среды, формирующие дорожные и природно-климатические воздействия в горных условиях эксплуатации АТС [1]

Дорожные условия строительства ГТС (Рогуской ГЭС) в целом можно характеризовать как сложные и экстремальные. Сложность дорожных условий обусловлена неровностью карьерных дорог, сложностью их геометрии в плане и профиле [10], а природно-климатические особенности в условиях строительства Рогуской ГЭС характеризуются тем, что существенным перепадом температуры, влажности воздуха и атмосферного давления по сезонам и в течении суток [11].

Весомая доля в себестоимости грузоперевозок приходится на автомобильные шины. Это обстоятельство усугубляется в горных условиях

строительства ГТС, где затраты на автомобильные шины намного превышают затраты для равнинных условий. Поэтому затраты на автомобильные шины для горных условий эксплуатации автомобилей являются определяющим фактором, формирующим себестоимость перевозок и эффективность использования автомобилей, которые определяются существующими нормативами, определяющими ресурс шин [12].

Назначенные заводами изготовителями нормы пробега автомобильных шин до полного износа рисунка протектора установлены на основе результатов исследований, полученных в конце прошлого века [13]. При установлении базовых норм ориентировались фактическими значениями средних ресурсов шин, снятых с эксплуатации без учета особенностей горных условий при строительстве ГТС. За пол века, прошедшего со времен установления нормативов ресурса шин, произошло полная смена модельного ряда автомобильных шин. Исходя из вышеизложенного, можно предполагать, что действующие нормативы не соответствуют фактическому ресурсу ШГА, эксплуатируемых в горных условиях РТ при строительстве ГТС, в частности в условиях строительства Рогунской ГЭС. За последние годы в Республике Таджикистан заметно увеличился ассортимент автомобильных шин, импортируемых из стран дальнего зарубежья. В частности, в республике широко используются автомобильные шины производства Китайской Народной Республики, которые по качеству существенно уступают шинам европейских производителей.

Более полная реализация потенциального ресурса эксплуатируемых шин в условиях горных карьеров способствует планированию потребности предприятий в шинах, а также уточнению затрат на шины. Для успешного решения данной задачи необходимым условием является разработка объективных нормативов ресурса новых моделей шин с учетом реальных условий эксплуатации автомобилей на строительстве ГТС. В соответствии с положением [13] на сегодня по автомобильным шинам, для которых не утверждены в установленном порядке нормы эксплуатационного пробега, автохозяйства, по согласованию с

вышестоящей организацией, утверждают для этих шин временные нормы на основании средних пробегов списанных шин.

Установление нормативов ресурса шин автомобилей-самосвалов, эксплуатируемых в горных условиях при строительстве ГТС, считается сложной задачей из-за отсутствия методики, адекватно определяющей средний пробег шин, снятых с эксплуатации.

Несмотря на то, что эта операция кажется простой она сопровождается рядом проблем. Решение проблемы осложняется тем, что не существует единой методики определения среднего пробега шин, снятых с эксплуатации. При решении подобных задач рекомендуется пользоваться методами теории вероятности путем случайного отбора шин достаточной выборки с целью обеспечения и выделения репрезентативность результатов расчета. Среднее значение ресурса определяется при достижении предельного износа рисунка протектора или механического повреждения шин в момент снятия их с автомобиля.

Недостатком данного метода является его значительная продолжительность, необходимая для установления корректной нормы пробега шин. При необходимости сравнения долговечности шин разных моделей проводятся ускоренные стендовые или дорожные испытания. Установить нормы пробега шин до предельного состояния по этим результатам не представляется возможным. По этой причине можно предполагать, что на сегодня не существует методики для оперативной оценки и корректирования нормативов ресурса ШГА.

Следовательно, можно заключить следующее:

1. Доступность, достоверность и оперативность установления нормативов ресурса шин в значительной степени способствуют повышению эксплуатационной эффективности грузовых автомобилей.

2. Разработка оперативной оценки и корректирования нормативов ресурса шин предполагает необходимость проведения специальных исследований в конкретных условиях эксплуатации автомобилей, в данном случае в горных условиях при строительстве ГТС.

3. Для определения и корректирования нормативов ресурса шин необходимо разработать математические модели с использованием современных математических методов.

4. Обобщить результаты экспериментальных и теоретических исследований с целью установления нормы пробега ШГА в условиях строительства ГТС. От величины формирующих норм существенно зависит долговечность шин в эксплуатации.

## **1.2 Классификация факторов, влияющих на ресурс шин грузовых автомобилей в горных условиях**

Единственным элементом автомобиля, непосредственно имеющим контакт с поверхностью дороги, является шина [14]. В зависимости от конструкторско-технологических особенностей, эксплуатационных режимов и дорожно-климатических условий динамика процесса взаимодействия шины с дорожным полотном бывает простым, средним и сложным. В условиях эксплуатации грузовых автомобилей в горных карьерах взаимодействие шины с дорогой зависит от большого количества факторов, изменяющихся в достаточно широких пределах. Горные условия эксплуатации автомобилей при строительстве ГТС характеризуются тем, что при взаимодействии шины с дорогой появляются факторы значительно отличающейся от факторов, свойственных равнинным условиям эксплуатации. Например, стохастический характер воздействия дороги на колесо автомобиля, низкое качество дорожного полотна, характеризующееся низким значением ровности покрытия, сложное состояние погрузочно-разгрузочных площадок и др. Названные факторы условно можно разделить на три группы: конструкторско-технологические, эксплуатационные и дорожно-климатические (рис. 1.2).

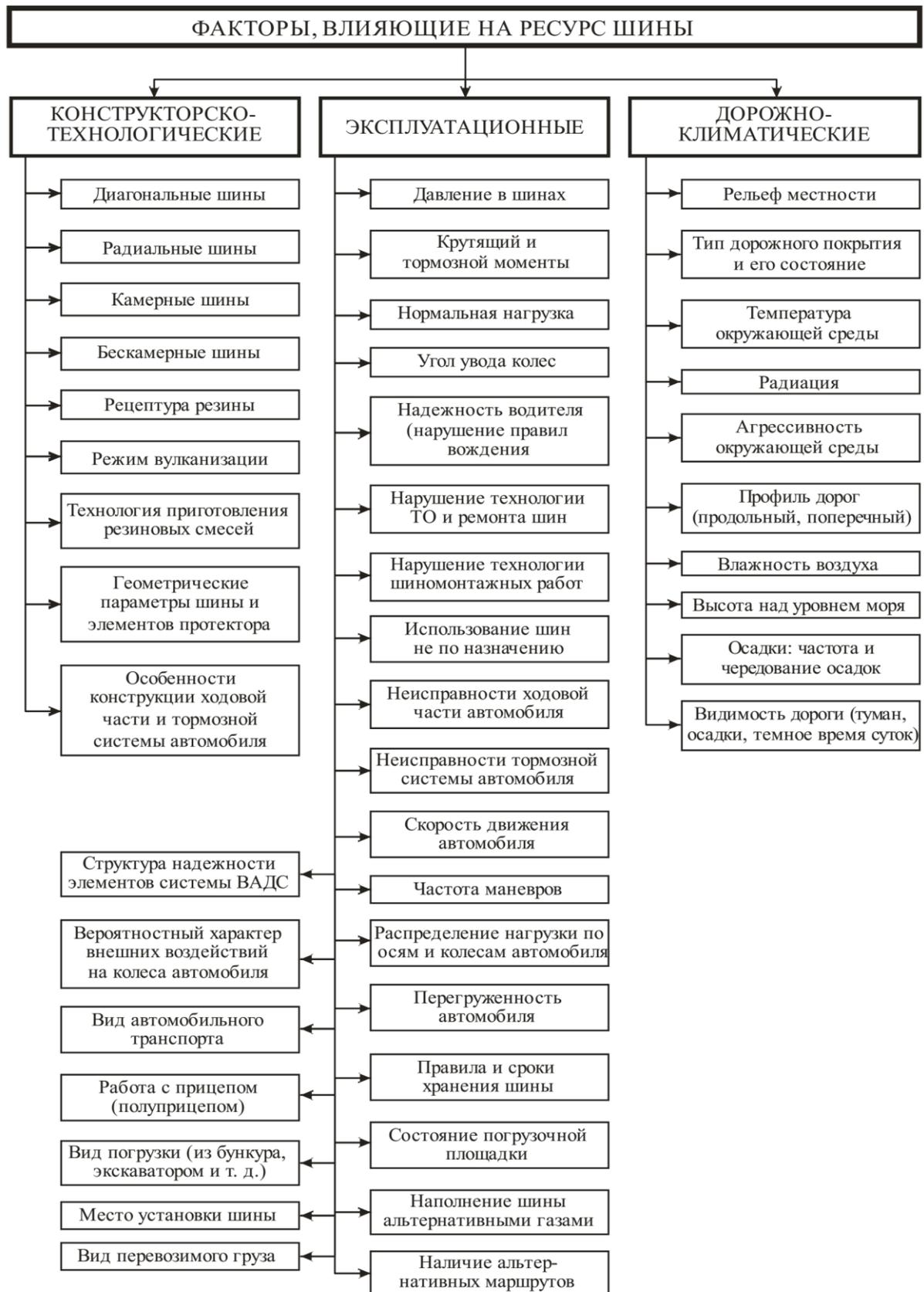


Рисунок 1.2 – Классификация факторов, влияющих на ресурс ШГА, эксплуатируемых в условиях горных карьеров по технико-эксплуатационным признакам

Конструкторские и технологические факторы по характеру и составу влияния на ресурс шин в горных карьерах принципиально не отличаются от тех, которые эксплуатируются на равнинных дорогах. Однако их воздействие усугубляется сложностью дорожно-климатических условий эксплуатации автомобилей в горных карьерах строительства ГТС [12].

Из большого разнообразия климатических факторов, свойственных горным условиям, существенно влияющих на формирование ресурс ШГА, можно выделить температуру окружающей среды.

Резина является термопластичным материалом [15]. При повышении температуры шины до  $100^{\circ}\text{C}$  снижается прочность ее межмолекулярных связей в 2–3 раза [15]. Температура ШГА, эксплуатируемых в горных карьерах Республики Таджикистан, обычно в летнее время, превышает 60-градусной отметки. Это было подтверждено исследованиями температуры поверхности шин 18.00–25 автомобилей БелАЗ–7540В, 18.00–25 автомобилей SHACMAN-SX3256DR384, HOWO-336 и DongFeng-3251A при эксплуатации в условиях строительства Рогунской ГЭС [16].

В ходе экспериментальных исследований, проведенных в августе 2015 года, на высотах 1150...1350 метров над уровнем моря, при температуре окружающего воздуха  $t_{\text{воз}}=+35^{\circ}\text{C}$ , измерения температуры поверхностей шин были произведены высокотемпературным пирометром DT–9862 с оптическим разрешением 50:1. При этом диапазон колебания температуры поверхности шин составил от  $t_{\text{min}}=+41,1^{\circ}\text{C}$  до  $t_{\text{max}}=+62,1^{\circ}\text{C}$ , при  $t_{\text{cp}}=+52,4^{\circ}\text{C}$ .

Наибольшее число факторов, определяющих ресурс шин при эксплуатации грузовых автомобилей в условиях горных карьеров, является эксплуатационным. Одним из значимых эксплуатационных факторов является внутреннее давление шины. Грузовые автомобили, работающие на строительстве ГТС и карьерах, большую часть пути маршрута проходят в порожном состоянии без нагрузки.

Однако нормальное давление шины для них устанавливается из расчета полной массы автомобиля. Характер износа ШГА, эксплуатируемых в условиях горных карьеров, показывает, что нормированное давление внутри шины,

установленное заводом-изготовителем (575 кПа,  $\pm 25$  кПа, при нагрузке на шину 8750 кг) не в полной мере учитывает условия их реальной эксплуатации.

По признаку управляемости факторы, влияющие на ресурс ШГА, эксплуатируемых в условиях горных карьеров, уместно разделить на три категории: полностью управляемые, частично управляемые и неуправляемые (рис.1.3). Классификация по признаку управляемости существенно отличается от классификации по причинно-следственному признаку. Несмотря на отличия, эти две классификации имеют неимоверное практическое значение для корректирования нормативов ресурса ШГА при строительстве ГТС в горных условиях [14, 17].

К наиболее значимым факторам, определяющим ресурс шин большегрузных автомобилей, эксплуатируемых в горных карьерах, можно отнести категории эксплуатационных и дорожно-климатических факторов по причинно-следственному признаку, а по признаку управляемости – частично управляемые и неуправляемые факторы [14, 17].

По результатам экспериментов можно утверждать, что в названных условиях наравне с разными причинами выхода из строя ШГА нередко наблюдается износ и крошение протектора шины в ее центральной части, что, несомненно, является результатом избыточного давления внутри шины [18]. Давление или плотность воздуха внутри шины зависят от температуры окружающего воздуха, а также нагрузочного и скоростного режимов работы автомобиля [16, 18]. В результате повышается избыточное давление внутри шины, и её соприкосновение с дорожным полотном происходит только центральной частью, что приводит к износу по средней полосе протектора [19].

Таким образом, классификация факторов, формирующих ресурс шин автомобилей-самосвалов по конструкторско-технологическим, эксплуатационным и дорожно-климатическим признакам, а также по признаку управляемости факторов систематизирована с учетом особенностей их эксплуатации в условиях горных и высокогорных карьеров.



Рисунок 1.3 – Классификация факторов, влияющих на ресурс ШГА, эксплуатируемых в условиях горных карьеров по признаку управляемости

В обеих классификационных системах (рис. 1.2 и 1.3) выделены и установлены факторы, которые являются свойственным и имеют немаловажные значения в формировании ресурса шин автомобилей-самосвалов, эксплуатируемых в условиях горных карьеров, например, такие факторы как структура надежности элементов системы ВАДС, вероятностный характер внешних воздействий на колеса автомобиля [20].

### **1.3 Влияние основных факторов на надежность и долговечность шин грузовых автомобилей в горных условиях**

#### **1.3.1 Влияние дорожных условий на ресурс шин грузовых автомобилей**

При прочих равных условиях автомобильная дорога выступает доминирующим фактором, формирующим ресурс ШГА [21].

Это в двойне значимо для условий эксплуатации грузовых автомобилей в горных карьерных дорогах при строительстве ГТС.

В автомобиле значительное количество преобразования энергии (энергообмена) или взаимодействия сил происходит между двумя элементами – колесом и дорогой. Формирование ресурса ШГА тесно связано с организацией процесса обмена энергией и характером протекания этого процесса или ее динамики, а также соответствующего ей параметрами движения автомобиля (скоростью и направлением движения, моментом на колесе, ускорением, торможением, а также соотношением установившегося или неустойчившегося движений и т.д.) [10].

Эффективность преобразования энергии между колесом автомобиля и дорожным полотном (преобразования с минимальными затратами энергии на скольжение колес о поверхность дороги, преодоление сопротивлений движению, ускорению и торможению, на различные маневры и д. т.) можно считать важным определяющим фактором, влияющим на ресурс шины в целом [10].

Известно, что затраты на сооружение и содержание технологических автодорог карьеров варьируют в пределах 5...8% от затрат на транспортирование горной массы автотранспортом, или 1,5...4,0% от полной стоимости открытой добычи. Причем не менее двух третей от этих затрат идет на содержание и ремонт автомобильной дороги [10, 22].

Однако из-за суровости условий эксплуатации транспортно-эксплуатационные качества технологических автодорог на строительстве горных ГТС постоянно поддерживать на уровне, отвечающем требованиям нормативно-технических документов, не представляется возможным [10]. Поверхность автомобильной дороги на карьерах строительства ГТС в горных условиях обычно засыпана гравийными частицами, сформировавшимися из мелко дробленных вскрышных пород и галечников.

Карьерным автомобильным дорогам на строительстве гидротехнических сооружений ГТС в горных условиях характерны следующие особенности [10]:

- дресвяные и щебенистые обломки горных пород, разбросанных на поверхности дорожного полотна с наибольшей удельной плотностью, отнесенная на единицу площади дороги, наблюдается на поворотах, подъемах, на участках дорог с неровностями, на колеях дороги;

- на обочинах дорог наблюдаются скопления булыжников и валунов, имеющие размеры от 10 до 25см, а также имеются горные породы, состоявшиеся из песка, галечника, обломков дресвы и щебня;

- имеются заметные отклонения поперечного профиля карьерной дороги от требований СНиП, а также не редкие обратные уклоны и вогнутость формы на участках дороги, что способствует засорению поверхности дорожного полотна дресвяными и щебенистыми обломками горных пород;

- горные породы в виде дресвяных и щебенистых обломков, отличающиеся высокой абразивной способностью, распределённые на поверхности карьерной дороги, характеризуются тем, что они разбросаны на твердую основу дорожного полотна, что приводит к повышению интенсивности абразивного изнашивания рисунка протектора и как следствие сокращению срока службы шин;

– в условиях горных карьеров при строительстве ГТС большинство участков автомобильной дороги засыпаны обломками горных пород в виде дресвы и щебня, выпавших из кузова автосамосвала на поверхность дороги, причем распределение обломков отличается стохастическим характером (рис. 1.4);



Рисунок 1.4 – Фрагмент горной карьерной автодороги

Имеющиеся характерные особенности автомобильных дорог в горных карьерах при строительстве ГТС способствуют к значительному снижению нормативного ресурса ШГА [10].

Поверхности горных карьерных автодорог в основном засоряются абразивными частицами различной породы и форм, получаемых при вскрышных работах в результате разрушения скальной породы, а также при загрузке и транспортировке груза [23].

Основы перевозимого груза в условиях строительства горных ГТС составляют шероховатые частицы неправильной формы и размеров, варьируемых в широких пределах, перемешанные с неоднородным составом глины и пыли [10].

Гранулированный анализ скальной породы после вскрышных работ, состоящей в основном из дресвяных и щебенистых обломков горных пород и

выпавших из кузова автосамосвала на поверхность дороги произведен методом просеивания на ситах [10, 24, 25, 26], результат которого представлен на рис. 1.5.

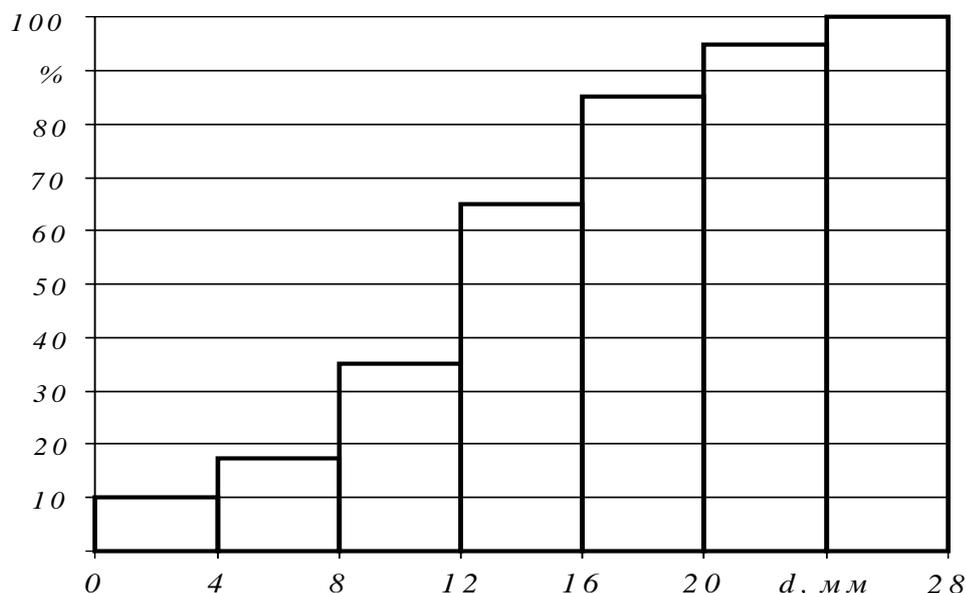


Рисунок 1.5 – Результаты гранулированного анализа щебня, выпавшего из кузова самосвала на поверхность дороги методом просеивания на ситах

Состав перевозимого груза, используемого при возведении платин на строительстве ГТС в горных условиях состоит из десятки наименований горных пород, основу которого составляют гранит, базальт, песчаник и др.

Можно выделить две основные причины засорения поверхности дороги абразивными частицами скальной породы в горных карьерах: естественное и за счет их выпадения из кузова автосамосвала при перевозке груза.

Интенсивность выпадения абразивных частиц, способствующих снижению долговечности шины из-за увеличенного абразивного износа рисунка протектора из кузова автосамосвала на поверхность карьерной дороги зависит от:

- механических свойств перевозимого груза (порода, состав, структура, плотность, твердость и абразивность);
- особенности конструкции автомобиля;
- динамики режима движения автосамосвала (режимы ускорения, торможения и прочих маневров);

- частоты и агрессивности выполнения маневров;
- уровня загрузки кузова самосвала скальной породой;
- геометрии дороги в плане и профиле;
- специфики маршрута движения;
- суровости природно-климатических условий;
- уровня мастерства управления автомобилем;
- качества дорожного полотна, определяемого в основном по её ровности [10].

Другой отличительной особенностью карьерной дороги в горных условиях считается скопление булыжников и валунов на обочине дороги, которые служат причиной бокового разрыва автомобильных шин и, как следствие, снижению сокращению его ресурса. При этом дресвяные и щебенистые обломки горных пород, распределенные по твердой поверхности дороги, вдавливаются в тело протектора и тем самым способствуют интенсивному изнашиванию рисунка протектора и механическому ее повреждению (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Механические повреждения автомобильной шины на горной карьерной дороге, засоренной дресвяными и щебенистыми обломками горных пород

Следует отметить, что в рамках данного исследования корреляционная зависимость между количеством дресвяных и щебенистых обломков горных

пород на поверхности дороги и сроком службы автомобильной шины не выяснилась, хотя философский закон взаимного перехода количества в качество и наоборот является всеобщим и остается справедливым и в нашем случае.

Ещё одной характерной особенностью карьерных автодорог на строительстве ГТС в горных условиях РТ является качество дороги, которое оценивается неровностью или отклонениями фактической поверхности от проектной, служащими причиной колебания его колес и кузова и, как следствие, обильного выпадения дресвяных и щебенистых обломков, отличающихся высокой абразивностью [27].

Карьерные автомобильные дороги на строительстве ГТС в горных условиях характеризуются частыми продольными и поперечными неровностями. Из поперечной неровности, наряду с макронеровностью (с длиной волны 5 м и более) и шероховатостью (с длиной волны до 10 см), широко распространены и микронеровности дорожной поверхности, состоящие из неровностей длиной от 10 см до 5 м, которые вызывают значительные колебания автомобиля на подвеске [10, 28].

Эксплуатация автомобилей-самосвалов в карьерных дорогах строительства ГТС целесообразна при небольшом плече перевозок, не превышающих 6 км. Это важно не только с точки зрения экономики, но и вопросов эксплуатации, как автомобильных дорог, так и самих автомобилей-самосвалов, в том числе их шин. Несмотря на то, что операции грузоперевозок в условиях карьеров осуществляются на маршрутах с короткими плечами грузоперевозок, тяжёлые дорожные условия наносят автомобилям-самосвалам и их шинам значительный ущерб.

Изменения геометрии автомобильных дорог в профиле и в плане на относительно небольшом протяжении горного участка дороги способствуют частым маневрам грузового автомобиля, эксплуатируемого в тяжёлых дорожно-климатических условиях [29], что, в свою очередь, приводит к увеличению тангенциальной и боковой нагрузок, негативному воздействию ударов и толчков вследствие неровностей дороги, что приводит к многократно повторяющимся

сложным деформациям шин, а в конечном счёте, неизбежно ведёт к интенсивному износу рисунка протектора шины и их механическому повреждению.

### **1.3.2 Влияние температуры окружающей среды на формирование ресурса шин грузовых автомобилей в горных условиях**

Установлено, что в процессе эксплуатации автомобиля затраты на шины занимают второе место после затрат на топливо [16]. Это общепринятое утверждение не всегда соответствует действительности, в частности при эксплуатации автомобилей летом в экстремальных горных условиях.

В горных карьерах строительства ГТС автомобильная шина работает в чрезвычайно сложных, зачастую, жестких экстремальных условиях. Климатические условия строительства ГТС характеризуются высокой температурой воздуха, достигающей своего максимума (до  $+40^{\circ}\text{C}$  и выше) после полудня с июня по август. Температура поверхности дорожного покрытия в условиях строительства Рогуской ГЭС летом превышает температуру воздуха на  $15...25^{\circ}\text{C}$ , к тому же удельная теплоемкость дорожного полотна при этом достигает  $850 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{град})$ , а удельная теплоемкость воздуха  $1005 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{град})$ . Карьерные дороги в условиях строительства Рогуской ГЭС расположены на высотах от 1050 до 1350 м над уровнем моря. Кроме того, эти дороги характеризуются частыми изменениями геометрии в профиле и в плане на относительно небольшом протяжении маршрута грузоперевозок, что способствует частым маневрам при эксплуатации автомобиля в горных карьерах. В свою очередь, частые маневры приводят к частым изменениям нормальной, тангенциальной и боковой нагрузок, ударов и толчков, и многократных сложных деформаций, воспринимаемых шиной, вследствие чего к интенсивному износу протектора шины [30].

Износ шины и расход его ресурсов протекают гораздо интенсивнее летом. Это связано с повышением температуры воздуха, как следствие, температуры поверхности дорожного покрытия и автомобильной шины. Повышение же

температуры автомобильной шины приводит к повышению ее внутреннего давления, снижению их механических свойств, таких как жесткость, эластичность, прочность шинных материалов, а также износостойкость [16].

С увеличением температуры окружающего воздуха увеличивается температура автомобильной шины, что приводит к изменению коэффициента сцепления шины с дорогой, вследствие чего меняется и интенсивность изнашивания рисунка протектора, а также частотность механических повреждений шин. Ранее установлено, что при увеличении температуры воздуха температура шины  $t_{ш}$  растет по линейной зависимости (рис. 1.7а). При изменении температуры шин меняются механические свойства материала протектора и, как следствие, меняется интенсивность изнашивания  $u_t$  [31].

По результатам исследований В.И. Кнороз и Н.С. Захарова [32, 44] установлено, что при понижении температуры шины интенсивность изнашивания рисунка протектора сначала падает, затем стабилизируется, затем снова растет, достигая значительной величины при температуре 40...45<sup>0</sup>С (рис. 1.7б) [19].

Интенсивность изнашивания шин в значительной степени зависит от коэффициента сцепления шины с дорогой  $\varphi$  (рис. 1.7в).

Зависимость  $\varphi$  от температуры от дорожного покрытия установлена исследованиями финской фирмы “Комета” [33] (рис. 1.7г). Аналогичные результаты приведены в исследованиях McC. Ettles С.М. [31, 34].

В условиях строительства Рогуской ГЭС при эксплуатации грузовых автомобилей в карьерных дорогах температура шины превышает температуру окружающего воздуха максимум на 50<sup>0</sup>С. В связи с этим кривая интенсивности изнашивания протектора от температуры шины  $t_{ш}$  (рис. 1.7б) при замене оси  $t_{ш}$  на ось  $t$  смещается влево на расстояние  $t_{ш} - t$  (рис. 1.7д).

В зонах 1 и 3 при изменении температуры воздуха коэффициент сцепления остается постоянным, в связи с чем форма кривой  $u_t=f(t)$  в этих зонах не изменится, но в зоне 1 она опустится ниже, так как  $\varphi_1 < \varphi_2$ . В зоне 2 коэффициент сцепления меняется в зависимости от температуры воздуха, как следствие, форма

кривой  $u_t=f(t)$  в зоне 2 будет иметь вид, аналогичный кривой  $\varphi=f(t)$  (рис. 1.7e) [31].

В процессе эксплуатации грузовых автомобилей на повышение температуры шины значительное влияние оказывают нагрузочная и скоростная режимы движения автомобиля, а также величина давления в шине [35, 36].

Другим важным фактором, влияющим на температуру шины, является изменение температуры окружающего воздуха независимо от того, находится ли шина в эксплуатации или на хранении ГОСТ 26585-2003 и ГОСТ 13298-90 [37, 38]. По результатам исследований Гуслицера Р.А. и Глускиной Л.С. [39] установлено, что при повышении температуры воздуха от 10 до 30<sup>0</sup>С температура шины повышается по линейному закону. О такой зависимости также свидетельствуют работы Цукерберга С.М. [40] и Ковальчука В.П. [41]. Однако другие исследователи, например, Авдонькин Ф.Н. [42], Grosh К.А. и Schallamach А. [43] для аппроксимации данных по влиянию температуры окружающего воздуха на интенсивность изнашивания протектора используют степенную зависимость с показателем степени больше 1.

Кнороз В.И. и Кнороз А.В. [15] утверждают, что при повышении температуры окружающего воздуха от 0 до 30<sup>0</sup>С интенсивность изнашивания управляемых колес грузовых автомобилей возрастает по экспоненциальной зависимости.

Температура поверхности шины является одним из основных факторов, определяющих интенсивность его изнашивания. Согласно данным Авдонькина Ф.А. [42], коэффициенты значимости параметров среды, влияющих на интенсивность изнашивания рисунка протектора шины распределены следующим образом: температура окружающего воздуха – 2,25, скорость движения – 1,75, давление воздуха в шине – 1,5, сходжение и развал колес – 1,37, нагрузка – 1,2 [19].

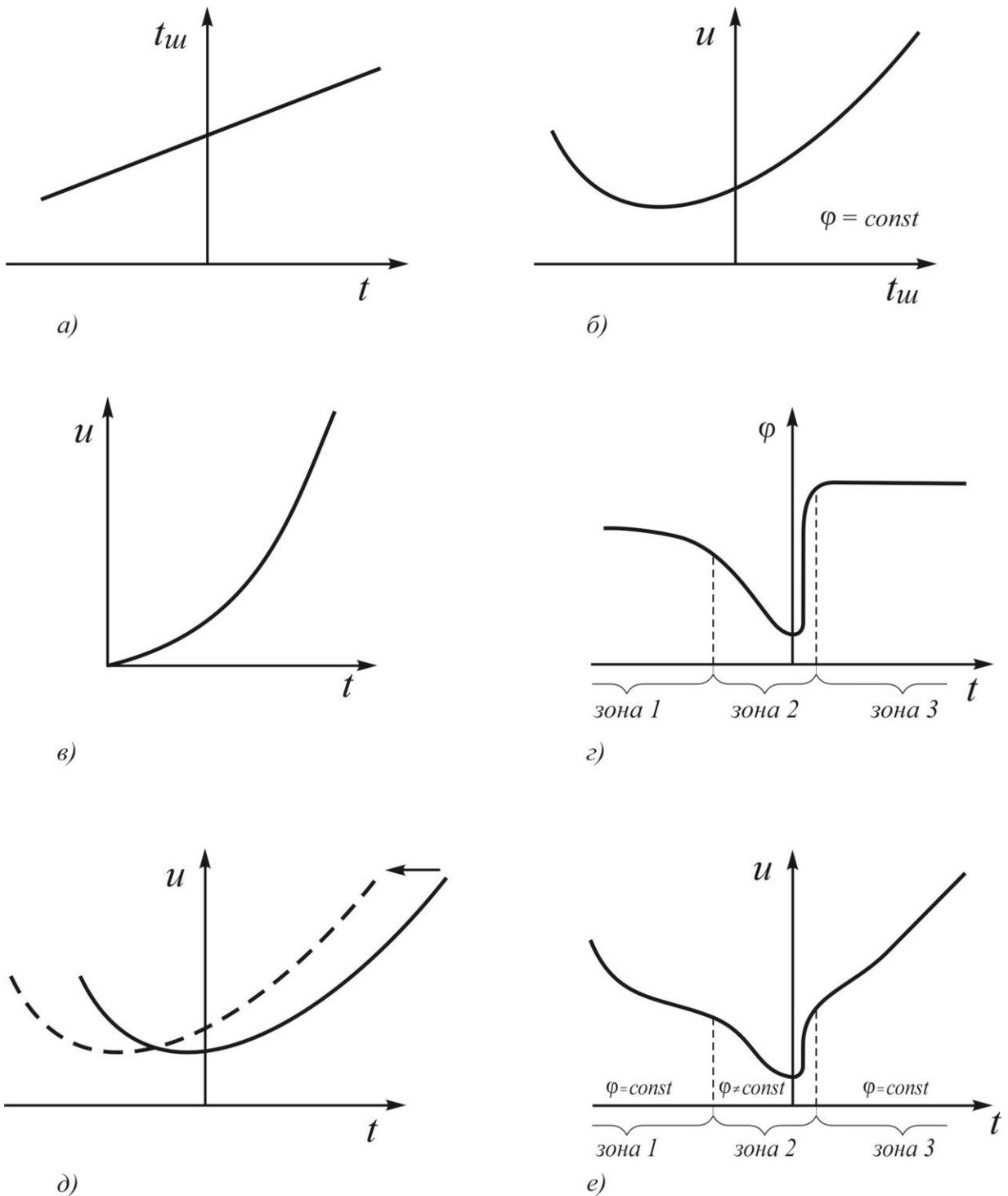


Рисунок 1.7 – Зависимость интенсивности износа рисунка протектора и коэффициента сцепления от температуры.

Таким образом, на основе анализа результатов исследований зарубежных и отечественных авторов можно заключить, что температура окружающего воздуха значительно влияет [19] на формирование ресурса ШГА, так как интенсивность

изнашивания шин в интервале температур выше  $0^{\circ}\text{C}$  увеличивается по степенной зависимости с показателем степени больше 1 [44].

### **1.3.3 Влияние отклонения давления внутри шины на её ресурс**

Давление внутри автомобильной шины является важным фактором, определяющим характер контакта шины с дорогой, обеспечивающим долговечность шины, эффективность организации дорожного движения, активную и экологическую безопасность транспортных средств, а также маневренность и тягово-динамические характеристики автомобиля, тормозные свойства и управляемость автомобиля, производительность и себестоимость грузоперевозок, а также ухудшающие условия работы водителя [45, 46].

При эксплуатации грузовых автомобилей на строительстве ГТС в горных карьерах номенклатура факторов, влияющих на отклонение давления шины от нормы, отличается некоторой разнообразностью (рис.1.8) [31]. В горных карьерах строительства ГТС дорожно-климатические условия можно отнести к категории экстремальной, что усложняет без того сложный скоростной и нагрузочный режимы движения автомобиля. Основными факторами, влияющими на отклонение давления внутри шины от нормы при эксплуатации грузовых автомобилей в горных карьерах, являются высота над уровнем моря и резкое ее изменение, а также характер колебания внешних воздействий, действующих на колеса автомобиля.

В условиях строительства Рогунской ГЭС карьерные дороги проложены на высотах над уровнем моря от 1050 до 1350 метров. На плечах грузоперевозок на расстояниях до 6 км разница высоты над уровнем моря составляет до 300 м.

Что касается колебаний внешних воздействий, они характеризуются относительно большим размахом варьирования и значением коэффициента вариации (в пределах 5...15%) для условий строительства ГТС (Рогунской ГЭС) в горных условиях. Влияние колебаний внешних воздействий усугубляется с повышением грузоподъемности автомобилей.

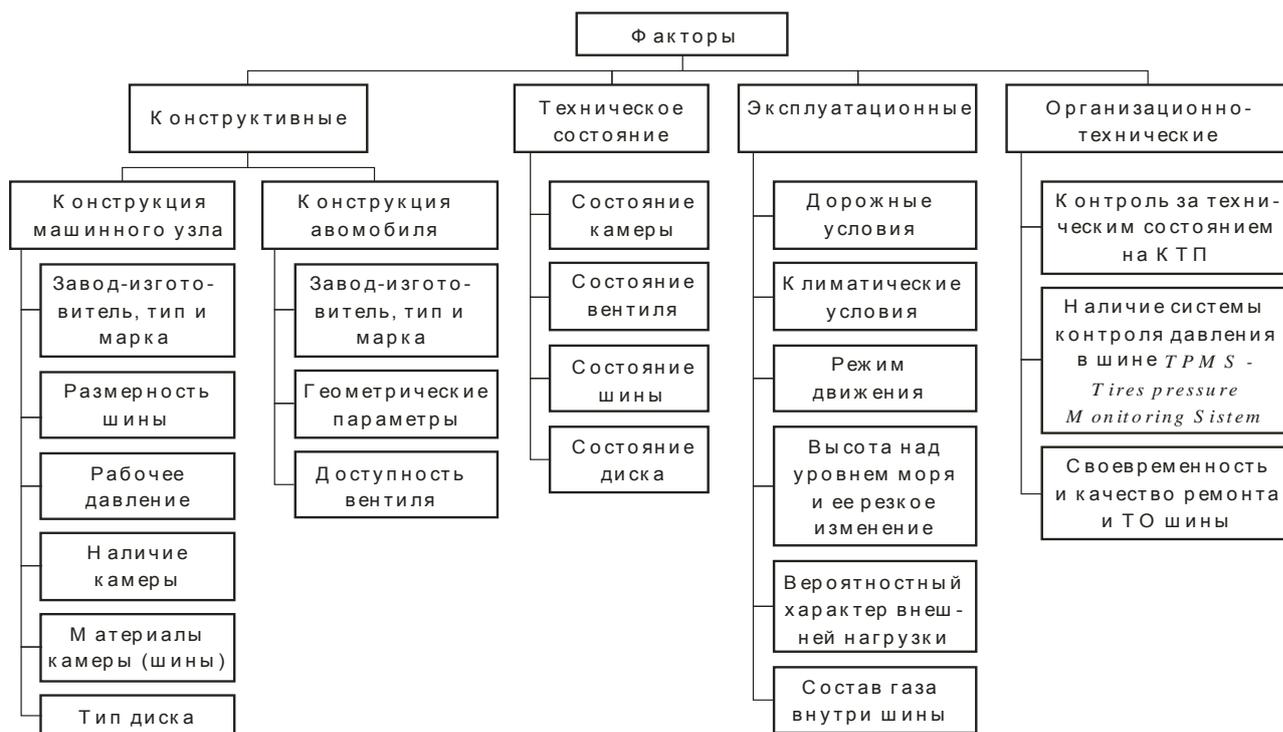


Рисунок 1.8 – Факторы, влияющие на отклонение давления шины от нормы при эксплуатации большегрузных автомобилей на строительстве ГТС в горных условиях.

### 1.3.4 Анализ влияния нагрузочных и скоростных режимов на ресурс шин

В зависимости от условий среды, дороги, а также мастерства вождения грузовых автомобилей имеет место значительное распределение нагрузки между колесами и шинами. Распределение радиальной нагрузки между отдельными колесами и шинами грузового автомобиля в тяжёлых карьерных условиях имеет вероятностный характер, и законы их распределения определяются на основе теории вероятностей. Для грузовых автомобилей-самосвалов (например, автомобиля БелАЗ–7540В) при движении по неровной дороге влияние импульса силы несколько выше, чем на более легких автомобилях. Увеличению импульса силы в данном случае способствуют высокая инертность большегрузных автомобилей-самосвалов, а также особенности конструкции подвески данных автомобилей.

Чрезмерная перегрузка автомобильной шины наблюдается в следующих случаях:

- при превышении общей массы груза от нормы;
- при перераспределении нагрузок между шинами на дорогах с значительным поперечным профилем;
- при неправильном распределении груза на кузове автомобиля самосвала;
- при наезде автомобильного колеса на крупные инородные предметы (булыжники, глыбы, валуны и др.)

Известно, что при пониженных давлениях воздуха внутри шины повышается напряжения в нитях корда каркаса. Кроме того перегрузка сдвоенных шин повышается при снижении давления воздуха в одной из шин [47].

При снижении давления воздуха увеличивается перегрузка на шину, что приводит к интенсивности износа рисунка протектора и вероятности механических повреждений, что в целом способствует к снижению ресурса шины.

Зависимость пробега ШГА в горных условиях строительства ГТС от весовой нагрузки представлена на рис. 1.9.

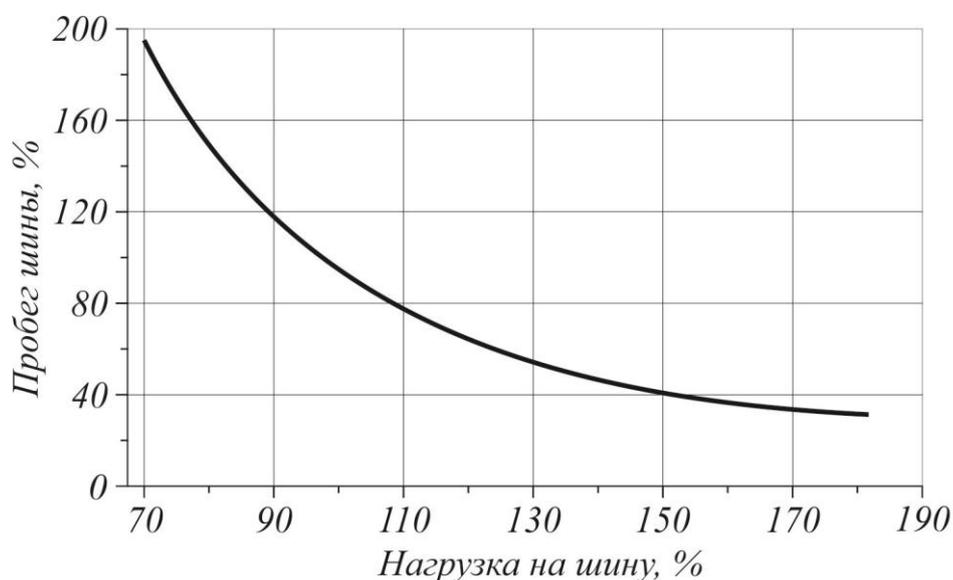


Рисунок 1.9 – Влияние весовой нагрузки на пробег шин в горных условиях эксплуатации

Влияние весовой нагрузки на пробег шины усугубляется с увеличением скорости движения автомобиля, эксплуатируемого в сложных дорожных условиях.

В результате увеличения скорости движения в неровной дороге увеличиваются частота и амплитуда ударных колебаний внешней нагрузки, сопровождаемой резким ростом температуры шины, что приводит к повышению интенсивности изнашивания протекторной резины и значительному увеличению числа механических повреждений шины.

Влияние скорости движения на интенсивность изнашивания протекторной резины усугубляется продолжительностью движения, величиной массовой нагрузки, неровностью дороги, высокой абразивностью дорожного покрытия, частотой поворотов из-за небольших радиусов поворотов, а также частоты и крутизны подъёмов и спусков [47].

Зависимость влияния скорости движения на ресурс шины [48] и [49] представлена на рис. 1.10.

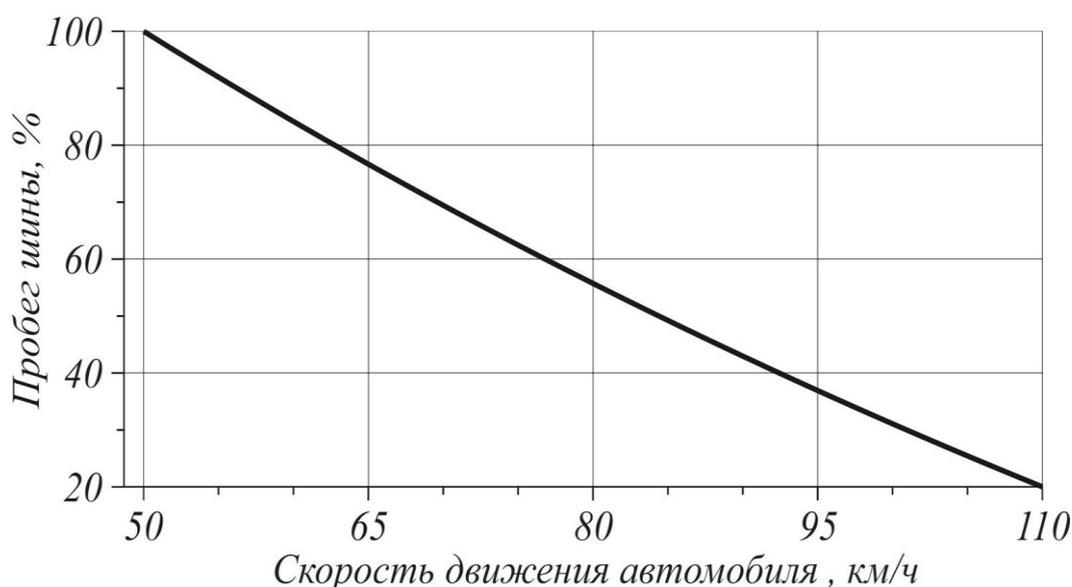


Рисунок 1.10 – Влияние скорости движения автомобиля на амортизационный пробег шин.

### **1.3.5 Влияние мастерства вождения на ресурс шин грузовых автомобилей**

В условиях эксплуатации в горных карьерах, характеризующихся сложной характеристикой плана и профиля дороги важным фактором, обуславливающим ресурс ШГА, выступает мастерство управления автомобилем [50].

Влияние мастерства вождения на ресурс ШГА проявляется сильнее при эксплуатации большегрузных автомобилей в горных карьерных условиях на дорогах с гравийным покрытием, имеющим низкие показатели характеристик дороги в плане и профиле. Данный аспект приобретает особое значение при эксплуатации большегрузных автомобилей в двухсменном режиме с неизбежно частыми и резкими маневрами [50].

Влияние мастерства вождения на формирование ресурса ШГА при прочих равных условиях можно определить, как отношение реального среднего значения ресурса шин, снятого с эксплуатации по причине полного износа рисунка протектора или механического повреждения к нормативному ресурсу, установленному заводом-изготовителем.

Надежность водителя ассоциируется безошибочным управлением транспортного средства при различных дорожно-климатических условиях в течение рабочей смены. При этом эффективность водителя понятие несколько весомее и с точки зрения формирования ресурса шины этот показатель характеризуется с наименьшими энергетическими, экономическими и материальными затратами, а также с незначительным экологическим ущербом [50]. При этом эффективность водителя можно также оценивать интенсивностью изнашивания протекторной резины и частотой механических повреждений шины [51].

Результат мастерства вождения при управлении карьерным автомобилем-самосвалом в горных условиях при строительстве ГТС зависит от множества факторов, таких как энергетические, экономические, материальные, экологические, а также эффективности обеспечения надежности автомобиля и безопасности движения.

Для условий эксплуатации автомобилей-самосвалов в горных карьерах не все перечисленные факторы являются значимыми [50], к числу которых в данных условиях можно включить показатели экологической безопасности транспортных процессов [52]. По карьерным дорогам автомобили двигаются с незначительной плотностью и интенсивностью, а автомобильный парк, в основном, оснащен дизельными двигателями [53, 54].

Эффективность управления грузовыми автомобилями с учетом формирования ресурса шины по экономическому показателю можно косвенно оценить на основе затрат на шину. В условиях строительства Рогунской ГЭС наилучшие показатели эффективности управления грузовыми автомобилями с учетом формирования ресурса шины по экономическому показателю установлены при стаже работы водителя от трех до шестнадцати лет. При этом максимальная эффективность достигается к восьмому году работы водителя.

Влияние мастерства управления грузовыми автомобилями с учетом формирования ресурса шин по показателю материальных затрат можно оценить по расходу запасных частей и ремонтно–эксплуатационных материалов [50].

Эффективность управления грузовыми автомобилями по показателю надежности можно оценивать экономическими показателями безотказности и долговечности шин. Кроме того эффективность управления грузовыми автомобилями можно оценивать по удельным затратам времени, трудоемкости и себестоимости устранения эксплуатационных и ресурсных отказов шин [50].

Наиболее значимым фактором при оценке эффективности управления грузовым автомобилем являются уровень ресурса шин, достигнутый при бережливом и агрессивном стилях вождения. Экспериментально эффективность управления грузовым автомобилем в горных карьерных условиях установлены на основе сопоставления результатов при бережливом и агрессивном стилях вождения.

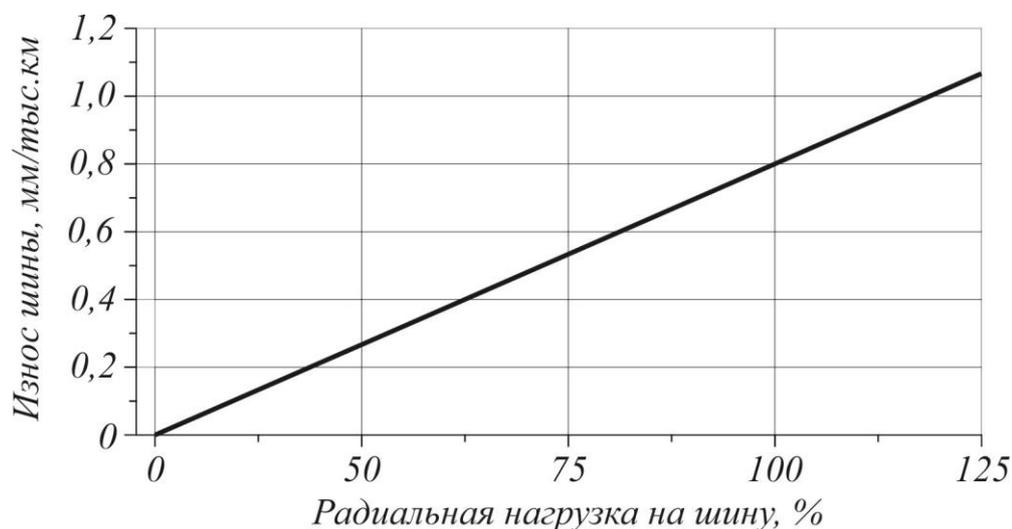


Рисунок 1.11 – Влияние радиальной нагрузки на ресурс ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС

Значительные тяговая и тормозная усилия, возникающая между колесом и дорожным покрытием являются одной из главных причин, способствующих интенсивному истиранию протекторной резины и прочие повреждения шины в виде взрыва, прокола, разрыва каркаса и т.п. [45, 46].

На основе хронометражных исследований установлено, что средняя скорость движения грузового автомобиля за езду в карьерных условиях эксплуатации при строительстве Рогунской ГЭС составляет около 15 км/ч. В горных карьерных дорогах с частыми поворотами (5-20 шт. на 1 км пути), большим числом подъёмов и спусков, достигающих то 10 шт. на 1 км пути наблюдается резкий рост числа разгонов и торможений, приводящих к повышению интенсивности истирания в 1,5-2 раза.

#### **1.4 Анализ отказов шин грузовых автомобилей в условиях строительства Рогунской ГЭС**

В условиях эксплуатации автомобилей в горных карьерах строительства ГЭС автомобильные шины имеют разнообразные отказы, связанные с особенностями влияния факторов. Наиболее часто имеют место отказы

эксплуатационного характера: интенсивный износ рисунка протектора, проколы, взрыв и прочие механические повреждения [55].

Из 117 подконтрольных автомобильных шин 10.00–20, установленных на автомобилях-цементовозах DongFeng–3251, эксплуатируемых в горных условиях, ни одна шина не проработала до установленной заводом-изготовителем нормы пробега, равного 50 тыс.км. Только 7 из общего числа автомобильных шин, находящихся в подконтрольной эксплуатации, наработали более 40 тыс. км. Из общего числа шин всего 63 шины вышли из строя по причине преждевременного износа рисунка протектора. Все остальные шины вышли из строя по причине взрыва и прочих механических повреждений.

Распределение отказов по причине механического повреждения автомобильных шин типоразмера 10.00–20, установленных на автомобилях – цементовозах DongFeng–3251, эксплуатируемых при строительстве ГТС в горных условиях по месяцам года (рис. 1.12), свидетельствует о неравномерности распределения отказов шин по месяцам года [55].

Из графика, приведенного на рис. 1.13. следует, что случайные отказы шин, связанные с механическими повреждениями, в основном приходятся на январь и февраль месяцы года. Для этих месяцев характерны оголения булыжников и камней с острыми ребрами после осадков, скользкое дорожное покрытие, выступление наружу части булыжников, имеющих достаточно большие размеры (10...15 см), и острые грани в результате износа поверхности дороги. В лужах, образованных после дождя, часто не видны инородные предметы, выпученные или выступающие на поверхности дороги камни с острым концом или ребром. На грунтовых дорогах после дождя все инородные предметы и выступающие камни «перекрашиваются» в цвет хаки и различить их в процессе управления автомобилем становится практически невозможным [55, 56].

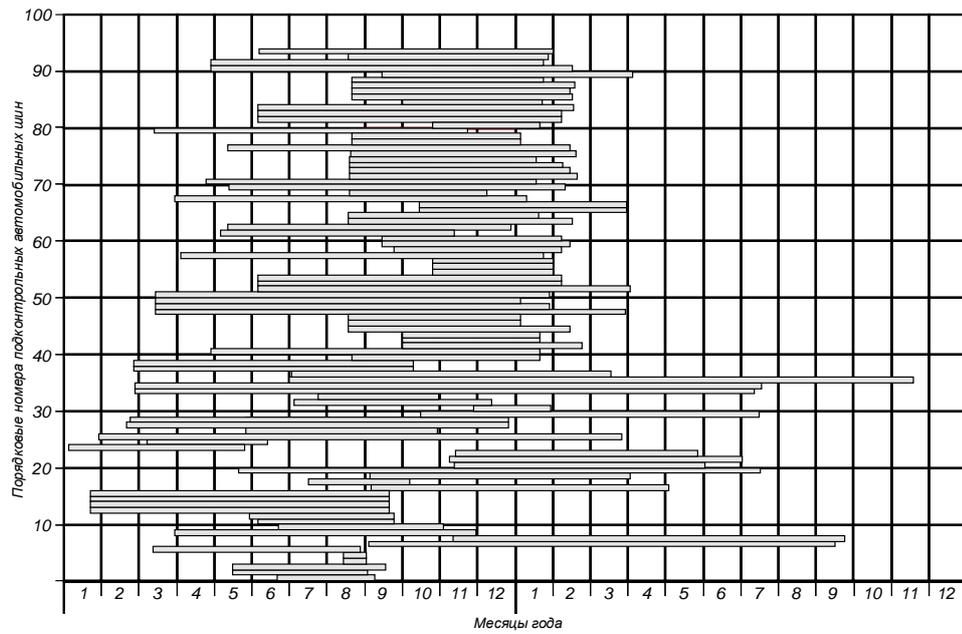


Рисунок. 1.12 – Распределение отказов автомобильных шин типоразмера 10.00–20, установленных на автомобилях-цементовозах DongFeng–3251, эксплуатируемых в условиях строительства Рогунской ГЭС, по причине механического повреждения по месяцам года.

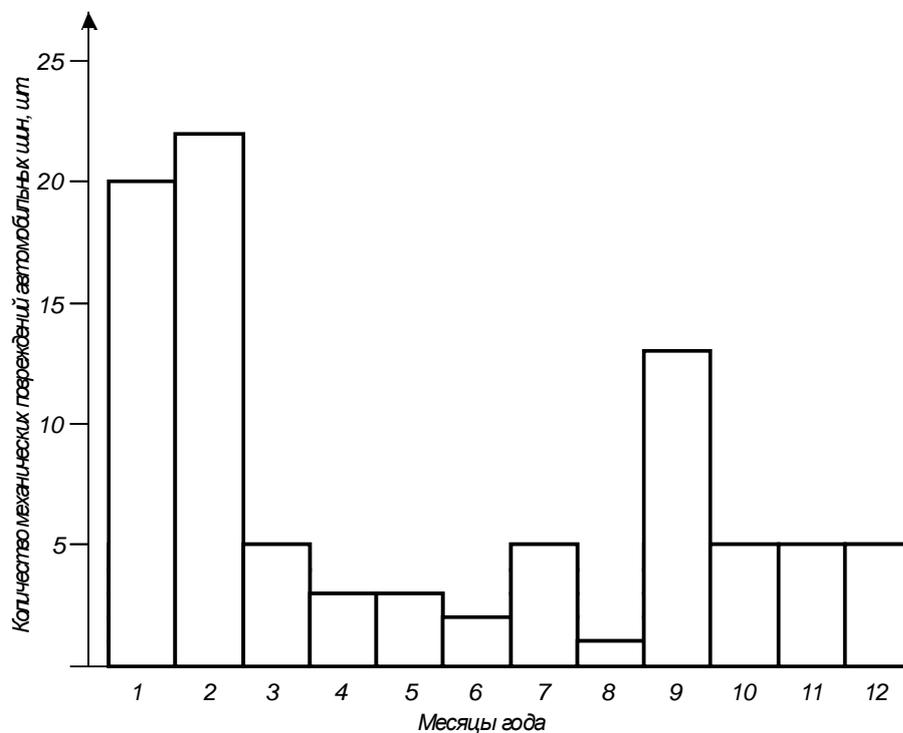


Рисунок 1.13 – Распределение отказов шин 10.00R20, эксплуатируемых в условиях строительства Рогунской ГЭС, с механическими повреждениями по месяцам года.

Все это приводит к различным механическим повреждениям автомобильных шин, а также к интенсивному крошению или абразивному износу рисунка протектора. В горных регионах для зимних месяцев также характерно резкое сокращение продолжительности светового дня, в результате чего снижается контрастность и сложнее становится различать предметы, приводящие к механическим повреждениям шин [55].

Распределение отказов подконтрольных ШГА по периодам года (рис. 1.14) показывает, что около 80% отказов с механическими повреждениями приходится на осенне-зимний период эксплуатации, а остальные 20% – на весенне-летний [55].

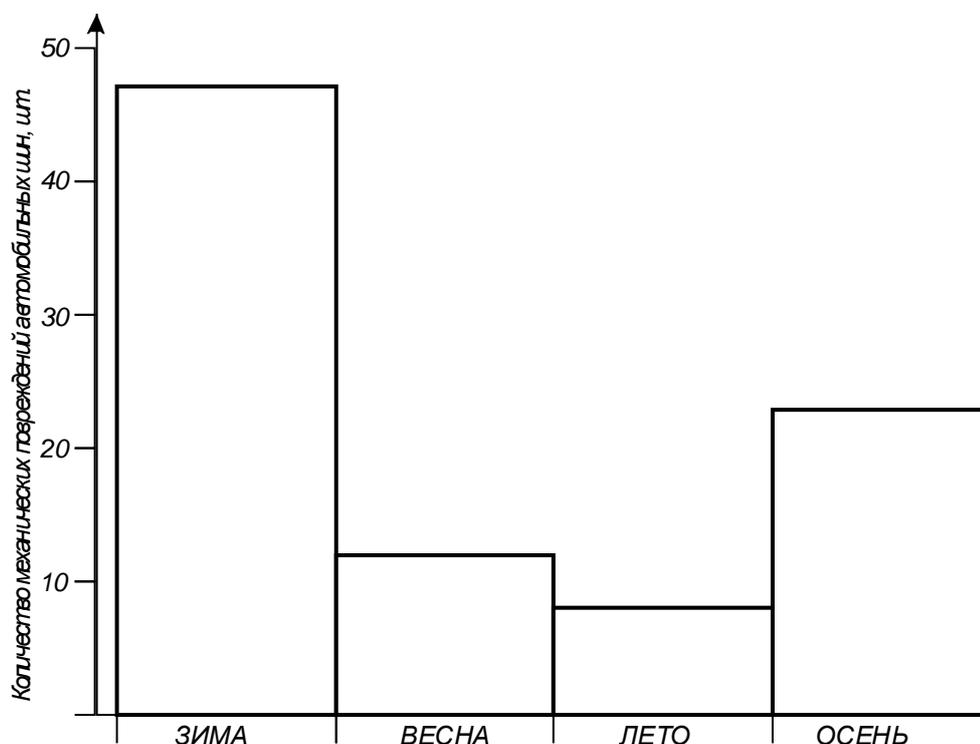


Рисунок 1.14 – Распределение отказов шин 10.00–20, эксплуатируемых в условиях строительства Рогунской ГЭС, с механическими повреждениями по временам года

По сути, износ рисунка протектора автомобильных шин есть не что иное, как процесс механического разрушения. Разница в том, что износ как механическое разрушение рисунка протектора, является закономерным

процессом, происходящим с той или иной интенсивностью, а взрывы, механические повреждения, трещины, разрезы, отслоения, излом каркаса и тому подобные дефекты шин имеют случайный характер [55].

Любые разрушения автомобильных шин, а также любые их дефекты связаны динамизмом процессов взаимодействия шины с дорогой. С учетом того, что свыше 80% всех подконтрольных автомобильных шин снимаются с эксплуатации по причине механического повреждения, можно утверждать о достаточности динамизма во взаимодействиях шины с дорогой [55].

На основании анализа распределения отказов автомобильных шин типоразмера 10.00–20, эксплуатируемых в карьерных дорогах строительства ГТС по причине механического повреждения по месяцам года, установлено, что средняя наработка на отказ названных шин составляет чуть более 23 тыс. км при установленной заводом-изготовителем норме пробега, равным 50 тыс. км.

### **1.5 Постановка вопроса и задачи исследования**

Анализ литературных источников показывает, что необходимо дальнейшее совершенствование методов корректирования нормативов ресурса ШГА. Наиболее актуальным являются вопросы корректирования ресурса ШГА в горных условиях ГТС, и сравнительная оценка нормативов ресурса шин типоразмеров 18.00–25 и 12.00–20. Корректирование нормативов ресурса ШГА позволит более полно использовать ресурсные возможности шин, а также разработать научно обоснованные нормативы ресурса шин для условий строительства Рогунской ГЭС с учетом наиболее значимых факторов, определяющих ресурс шин.

Корректирование нормативов ресурса ШГА с учетом влияния значимых факторов упрощает математические расчеты и практическую реализацию ресурса шин в конкретных условиях эксплуатации.

Цель работы заключается в сокращении затрат на ШГА на основе более полного использования их ресурса путем совершенствования методики корректирования нормативов их ресурса для условий строительства ГТС.

Исходя из изложенного, в качестве основных определены следующие задачи исследования:

- классификация факторов, формирующих на ресурс ШГА в горных условиях строительства ГТС;
- выбор и обоснование наиболее значимых факторов, формирующих ресурс ШГА с учетом условий эксплуатации;
- разработка математической модели для корректирования нормативов ресурса шин;
- обоснование числовых значений коэффициентов корректирования нормативов ресурса шин для условий Рогунской ГЭС;
- обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований, и разработка практических рекомендаций по реализации реальных ресурсов ШГА с учетом влияния значимых факторов.

## 2 АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Отбор основных факторов, влияющих на ресурс шин грузовых автомобилей в условиях строительства Рогунской ГЭС

Факторы, влияющие на ресурс ШГА в горных условиях строительства Рогунской ГЭС, характеризуются большой разнообразностью и неоднозначностью. Их влияние отличается от влияния факторов, действующих в условиях равнинной местности при эксплуатации автомобилей на асфальтобетонных дорогах.

Наиболее существенными факторами, снижающими ресурс ШГА и характерными для горных условий строительства ГЭС, являются следующие:

- конструкция шины;
- дорожные условия;
- климатические условия;
- давление внутри шины;
- нагрузочный и скоростной режимы движения автомобиля;
- стиль вождения;
- техническое состояние ходовой части автомобиля;
- вероятностный характер факторов.

Влияние факторов на ресурс ШГА в горных условиях строительства Рогунской ГЭС усугубляется тем, что интенсивность износа и механические повреждения обуславливаются различными сочетаниями большого количества факторов.

Основные факторы, определяющие ресурс ШГА в горных условиях строительства ГЭС, можно обобщить и сгруппировать следующим образом (табл. 2.1):

Таблица 2.1 – Основные факторы, определяющие ресурс ШГА в горных условиях строительства ГТС

Показатель	Факторы:
Категория условий эксплуатации грузового автомобиля	<ul style="list-style-type: none"> <li>–условия строительства ГТС, строительства и ремонт дорог;</li> <li>–скорость движения автомобиля;</li> <li>–дорожное покрытие;</li> <li>–геометрия дороги в плане и профиле;</li> <li>–неровность дороги;</li> <li>–частота торможений и ускорений.</li> </ul>
Тип транспортного средства и организация перевозок	<ul style="list-style-type: none"> <li>–тип и марка грузового автомобиля;</li> <li>–условия технологических остановок, связанных с погрузочно-разгрузочными работами;</li> <li>–квалификация и стаж работы водителя (уровень бережливости управления автомобилем);</li> <li>–вид погрузки (из бункера или экскаватором).</li> </ul>
Климатическое условие	<ul style="list-style-type: none"> <li>–климат (умеренный, умеренно-жаркий, умеренно-жаркий сухой, жаркий сухой, очень жаркий сухой, умеренно холодный и холодный) и его изменение на маршруте. Например, на отдельных маршрутах разница между наименьшим (1050 м) и наивысшим (1350 м) высотами над уровнем моря достигает 300 метров, в связи с этим из-за изменения избыточного давления меняется и давление внутри шины.</li> </ul>
Тип, техническое и эксплуатационное состояние шины	<ul style="list-style-type: none"> <li>–место установки шины;</li> <li>–тип и марка шины;</li> <li>–нагрузка на шину и крутящий момент на ведущих колесах;</li> <li>–ТО и Р шин.</li> </ul>
Экстремальные условия	<ul style="list-style-type: none"> <li>–экстремально высокие температуры воздуха;</li> <li>–низкое качество дорожного покрытия с выступающими булыжниками, имеющими часто острые грани на отдельных участках маршрутов (например, из-за проливных дождей и селевых потоков);</li> <li>– перевозка горных пород по дорогам, твердые поверхности которых «засыпаны» гравийными и галечниковыми частицами, дресвяными и щебенистыми обломками горных пород и др. предметами.</li> </ul>

### 2.1.1 Методика отбора факторов

Отбор значимых факторов, влияющих на формирование ресурса шин грузовых автомобилей в горных условиях строительства ГТС, воспользуемся рекомендациями Е. С. Кузнецова [57], согласно которым отбор значимых факторов, влияющих на ресурс шины грузовых автосамосвалов, необходимо проводить в следующей последовательности:

1. Предварительный отбор факторов проводится априорно по результатам ранее выполненных исследований, на основе которых устанавливаются причинно–следственные связи, экспертный опрос специалистов, а также систематизация и классификация значимых факторов.

2. После выбора факторов, значимых в формировании ресурса шин, прикрепляются доводами основные параметры каждого значимого фактора и выбираются методы их расчета.

3. Начальный этап отбора значимых факторов выполняется на основе определения уровня тесноты связи между значимыми факторами и долговечностью шины, а также уровня тесноты взаимной связи между отдельными факторами. Уровень значимости коэффициентов корреляции взаимодействия случайных факторов целесообразно определить по общеизвестной методике [58]. При этом корреляционная связь считается значимой, при выполнении условия:

$$t = \frac{|r|}{\sqrt{1-r^2}} \cdot \sqrt{n} - 2 > t_p \quad (2.1)$$

где  $t_p$  – табличное значение критерия Стьюдента для степеней свободы, равным двум ( $n=2$ ) и доверительной вероятности  $P$  [31].

При предварительном отборе на основе ранее проведенных экспериментов значимость фактора определяется из условия [59]:

$$\Delta L > t_p \cdot \sigma_1 \quad (2.2)$$

где  $\Delta L$  – интервал варьирования нормы пробега шин, значение которой вычисляется на основе ранее установленных зависимостей изменения фактора в

пределах, реализуемых в конкретных условиях функционирования автомобиля;  
 $\sigma_1$  – среднеквадратическое отклонение нормы пробега шины.

Преобразуя выражение (2.2) получим:

$$\Delta L / \sigma_1 > t_p.$$

Обозначая

$$t = \Delta L / \sigma_1,$$

получим

$$t > t_p.$$

Преобразуя последние выражения (разделив и умножив правую часть этого уравнения на математическое ожидание ресурса шин  $L_{cp}$ ), имеем:

$$t = \frac{\Delta L}{\sigma_1 \cdot L_{cp}} \cdot L_{cp} = \frac{\Delta L}{L_{cp}} \cdot \nu_1 > t_p \quad (2.3)$$

где  $\nu_1$  – коэффициент вариации полного ресурса шин.

4. Следующим и заключительным этапом является окончательный отбор, который выполняется с применением методов многофакторного анализа. Отсев факторов производится на основе оценки значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента. Значимость коэффициента регрессии определяется по условию [60]:

$$t = |S_j| / \sigma_{S_j} > t_p \quad (2.4)$$

### 2.1.2 Предварительный отбор факторов

Перечень основных факторов, влияющих на формирование ресурса ШГА в горных условиях, можно определить на основе анализа трудов Умирзокова А.М., Саибова А.А., Абдуллоева М.А., Юнусова М.Ю. [12, 19, 61, 62]. На основе обобщения результатов многолетних исследований вышеуказанных авторов и других сотрудников технологического парка Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими можно выявить следующие группы факторов, влияющих на формирование ресурса шин в конкретных условиях

эксплуатации: дорожные и климатические условия, а также факторы связанные с режимом работы автомобиля.

На основе анализа результатов исследованных отечественных ученых можно сделать вывод о том, что указанные группы факторов в горных карьерных условиях эксплуатации оказывают существенное влияние на долговечность автомобильных шин. Следовательно, с целью корректирования нормативов ресурса ШГА, в горных условиях строительства ГТС (на примере строительства Рогунской ГЭС), следует выявить влияние основных, наиболее значимых факторов для конкретных условий эксплуатации.

Дорожные условия входит в категорию, имеющую наибольшую значимость для горных карьеров при строительстве ГТС. Дорожные условия эксплуатации грузовых автомобилей в горных карьерных условиях варьируют в очень широких пределах, как между различными маршрутами, так и в пределах одного отдельного маршрута.

Не менее разнообразной является группа климатических факторов эксплуатации автомобилей. При этом отдельные факторы из этой группы варьируют в широких пределах на различных высотах над уровнем моря и в течение суток в различные времена года. Поэтому ресурс одной и той же марки шин, установленной на грузовых автомобилях одной модели, эксплуатируемых в одинаковых дорожных условиях с одинаковыми нагрузочно-скоростными режимами, меняются в значительных пределах.

Условия эксплуатации грузовых автомобилей при строительстве Рогунской ГЭС могут значительно отличаться в зависимости от времени года, маршрутов движения, а также климатических факторов.

Несмотря на специфический характер горных условий эксплуатации автомобилей-самосвалов одной и той же марки множество маршрутов движения в карьерах при строительстве ГТС значительно отличаются между собой. При этом автомобили эксплуатируются с различными значениями полной массы автомобиля и коэффициента использования его пробега. Следует отметить, что немаловажным показателем, учитывающим сложность условий эксплуатации,

значение которого зависит от состояния дорожного полотна, геометрии дороги, интенсивности движения, соотношения установившегося и неуставившегося режимов движения является обобщенный динамический коэффициент дороги  $k_D$ . Для карьерных условий при строительстве Рогунской ГЭС экспериментально установлено, что значение данного коэффициента варьируется в следующих пределах  $k_D = 0,12-0,13$  [63].

Наиболее значимые факторы для формирования ресурса ШГА выбирается из условия достижения достоверных результатов.

Трудности в выборе обобщающего фактора заключаются в том, что при этом возникает необходимость учета всего разнообразия факторов, таких как неровности дороги, абразивной способности дорожного покрытия, обусловленной засоренностью его поверхности мелкообломочными и крупнообломочными скальными породами в виде алевритовых, поамитовых, дресвяных и щебенистых частиц, а также металлическими и другими инородными предметами. Дорожные условия в горных карьерах также характеризуются коэффициентом сцепления, частотой и характером маневров, числом подъемов и спусков, радиусом кривизны поперечного сечения дороги и т.д.

Из-за большого количества разнообразия факторов, влияющих на формирование ресурса ШГА в горных карьерных условиях и отсутствия простых методик установления значений данных факторов, не представляется возможным оценки их влияния на норму пробега шины с высокой достоверностью.

### **2.1.3 Выбор и обоснование показателей факторов**

Из анализа состояния вопроса следует, что при исследовании влияния условий эксплуатации грузовых автомобилей на ресурс шин в горных условиях строительства Рогунской ГЭС необходимо учитывать от 8 до 10 различных факторов, сложность оценки которых связана с проведением долгосрочных и трудоемких экспериментальных исследований в реальных условиях. В связи с этим для комплексной оценки влияния множество факторов рекомендуется

пользоваться  $D$ -коэффициентом. С целью учета комплексного влияния факторов, приводящих к сложности дорожных условий, использован обобщенный показатель дорожных условий  $D$ -коэффициент, значение которого определяется из отношения ресурса шин в данных условиях к ресурсу шин в базовых дорожных условиях, установленных по результатам предварительных исследований [38]. Для практических целей уточнение ресурса шин обобщенный показатель дорожных условий может быть определен как отношение ресурсов шин, снятых с эксплуатации по причинам полного износа и механических причин в конкретных условиях и в базовых.

Значения  $D$ -коэффициента определяется из следующего уравнения:

$$D = d_a D_a + d_b (d_i D_i + d_x D_x + d_y D_y + d_z D_z +) + d_b (d_a D_m + d_x D_n + d_y D_k + d_z D_q +) \cdot (d_p D_p + d_r D_r), \quad (2.5)$$

где  $d_a, d_b, d_p, d_r$  – доли наработки шин соответственно по дорогам групп А, Б, В, равнинным и горным;

$d_i, d_x, d_y, d_z$  – доли наработки шин по дорогам группы Б, соответственно, с цементобетонным, щебенистым и гравийным покрытиями.

Для оценки влияния дорожных покрытий на формирования ресурса шин применяются следующие значения  $D$ -коэффициента:  $D_a = 1,00$  – для дорог группы А по данным НИИШП [64];  $D_i, D_x, D_y, D_z$  – для дорог группы Б, принимается по данным Королева и др. [64, 65] и по результатам исследований для условий эксплуатации грузовых автомобилей на строительстве Рогунской ГЭС (табл. 2.2):

Таблица 2.2 – Численные значения  $D$  для дорог группы Б

Дорожное покрытие	Условное обозначение	Числовое значение $D$		
		по данным НИИШП	по данным Королева	для условий Рогунской ГЭС
асфальтоцементное	$D_i$	0,60	0,85	0,81
цементобетонное	$D_x$	0,50	0,75	0,68
щебенистое	$D_y$	0,53	0,80	0,74
гравийное	$D_z$	0,47	0,70	0,62

$D_p=1,0$ ;  $D_r=0,8$  - для равнинных и горных дорог по данным НИИШП [64].

Оценка влияния типа и состояния карьерной дороги на интенсивность истирания протекторной резины и частоту механических повреждений шин значение  $D$ -коэффициента вычисляется из выражения [66]:

$$D = d_a D_a + d_b D_b + d_v D_v) \cdot (d_p D_p + d_r D_r), \quad (2.6)$$

где  $d_a, d_b, d_v, d_p, d_r$  – доли пробега шин соответственно по дорогам групп А, Б, В, а также равнинным и горным дорогам;

$D_a = 1,00$ ;  $D_b = 0,50 \dots 0,90$ ;  $D_v = 0,20 \dots 0,40$  – численные значения  $D$  для дорог групп А, Б и В, соответственно, по данным Кислицына Н.М. [67].

Принимаем для расчета  $D$  с учетом особенностей условий эксплуатации грузовых автомобилей на строительстве Рогунской ГЭС следующие значения:  $D_a = 1,0$ ;  $D_b = 0,65$ ;  $D_v = 0,35$ .

$D_p, D_r$  – численные значения  $D$  для равнинных и горных дорог (по данным НИИШП  $D_p = 1,00$ ;  $D_r = 0,80$ ; [64]);

#### **2.1.4 Оценка тесноты связи между факторами условий эксплуатации с надежностью шин**

Поставленные задачи исследования решаются путем разработки математической модели, уточнения численных значений её параметров с учетом особенностей конкретных условий эксплуатации грузовых автомобилей на строительстве Рогунской ГЭС.

Наиболее важные факторы, характеризующие условия эксплуатации и значимо влияющие на формирование ресурса шин, связаны с состоянием дороги, природно-климатическими условиями, нагрузочным и скоростным режимами движения автомобиля.

Для установления зависимости ресурса ШГА от условий эксплуатации определяют тесноту связи влияющих факторов и принимают решение о целесообразности последующих исследований.

Значимость фактора в качестве определяющего критерия устанавливается из условия выполнения неравенства (2.3). Принимаем интенсивность изнашивания рисунка протектора шин и частоту их механических повреждений на дорогах с асфальтобетонным покрытием за 100%. Тогда значение этого показателя на дорогах с щебеночным покрытием в горных карьерах на строительстве Рогунской ГЭС составляет 140%, а для карьерной дороги с гравийным покрытием - 145%. Эти же показатели, приведенные в [66], соответственно, равняются 135 и 142%.

С учетом значений вышеуказанного показателя для условий строительства Рогунской ГЭС из неравенства (2.3), получим. Принимаем  $L=100\%$  при нормальном теоритическом распределении показателей:

$$t = \frac{202\%}{100\%(0,13 \dots 20)} = 15,38 \dots 10 > 1,96.$$

Исходя из того, что условие (2.3) выполняется, можно утверждать о значительном влиянии дорожных условий на формирование ресурса ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС.

На основе вышеприведенного утверждения исследуется теснота связи нормы пробега шин с дорожными условиями эксплуатации.

Согласно данным, полученным в ходе экспериментальных исследований в тяжелых горных условиях шины типоразмера 18.00–25 выходили из строя в диапазоне наработки от 1,0 до 45 тыс. км, а шины типоразмера 12.00–20 – от 2,5 до 50 тыс. км.

Средний ресурс снятых с эксплуатации шин типоразмера 18.00–25 в реальных условиях строительства Рогунской ГЭС составил 25 тыс. км, а этот же показатель для шин типоразмера 12.00–20 – составил 32 тыс. км.

При нормальном законе распределения (с коэффициентом вариации  $v \leq 0,33$ ) и  $L_{min}=100\%$  из неравенства (2.3) получим:

$$t = \frac{165\%}{100\% \cdot 0,33} = 5 > 1,96.$$

Результат расчета свидетельствует о том, что дорожные условия значительно влияют и на формирование ресурса шин.

В результате оценки тесноты связи между температурой воздуха и ресурсом ШГА, необходимо отметить, что в горных условиях строительства Рогунской ГЭС ресурс ШГА формируется за счет полного износа рисунка протектора, а также их механических повреждений. Исследованиями сотрудников Технологического парка ТТУ имени академика М.С. Осими установлено, что снятие шин с эксплуатации по причине полного износа рисунка протектора шин и их механического повреждения в большинстве случаев происходит в осенне-зимний период, когда температура воздуха минимальна. Для шин типоразмера 10.00–20 в осенне-зимний период приходится около 70% всех отказов (снятий с эксплуатации).

При этом из неравенства (2.3) получим:

$$t = \frac{70\%}{100\% \cdot 0,33} = 2,1 > 1,96.$$

Из условия соблюдения неравенства (2.3) можно утверждать о том, что с доверительной вероятностью 95% климатические условия участвуют на формировании ресурса шин.

По результатам исследований сотрудников Технологического парка ТТУ имени академика М.С. Осими (Умирзокова А.М., Абдулло М.А., Давлатшоева Р.А., Саибова А.А.) и ООО «НИИ Транспорта» Юнусова М.Ю. совместно с инженерно-техническими работниками ОАО «Рогунская ГЭС», проведенным в рамках реализации закона РТ «О государственном частном партнерстве» установлено, что снятие с эксплуатации шин по причинам полного износа рисунка протектора и механических повреждений примерно в 1,5...2 раза превышает аналогичный показатель в среднем по Республике Таджикистан.

Для горных карьерных условий при строительстве Рогунской ГЭС получим:

$$t = \frac{(150-200)\%}{100\% \cdot 0,33} = 4,54...6,06 > 1,96$$

Следовательно, климатические условия также оказывают влияние на формирование ресурса шин.

Скоростной режим работы автомобиля характеризуется средней технической скоростью движения. В условиях эксплуатации грузовых автомобилей в горных карьерах строительства Рогунской ГЭС установлено, что средняя техническая скорость составляет 10 – 20 км/ч. Кроме того, выявлено, что скорость движения автомобилей в условиях горных карьеров ограничивается, в основном, сложными дорожными условиями. Отсюда следует вывод о том, что между указанными факторами имеется корреляционная связь. При этом следует отдать предпочтение фактору, имеющему более тесную связь с результирующим признаком [57], каковым является фактор дорожные условия. Исходя из этого, при дальнейших расчетах влиянием скорости движения автомобиля на ресурс шин можно пренебрегать.

По результатам исследования установлена статистическая незначимость влияния скорости движения на ресурс шины ( $t = 0,61...1,2 < 1,96$ ), следовательно оно не подлежит дальнейшему исследованию.

По данным [68], повышение нагрузки на 10% приводит снижению нормы пробега шин на 20%. В горных условиях РТ возможно при строительстве варьирование средней за срок эксплуатации нагрузки на шины до 100% .

При этом из неравенства (2.3), получим:

$$t = \frac{120\%}{100\% \cdot 0,33} = 3,64 > 1,96.$$

Условие (2.3) выполняется, следовательно, влияние радиальной нагрузки на ресурс ШГА является статистически значимым.

Из-за ограниченности справочных литературных данных по влиянию радиальной нагрузки на формирование ресурса ШГА в горных условиях строительства ГЭС воспользуемся результатами, полученными в ходе проведения многолетних экспериментальных исследований в горных карьерах строительства Рогунской ГЭС сотрудниками Технологического парка ТТУ имени академика М.С. Осими совместно с ООО «НИИ Транспорта».

При увеличении нагрузки на 10% (от 0,7 до 0,8 от уровня максимально возможной нагрузки) частотность снятия с эксплуатации ШГА в горных условиях по причине механических повреждений достигает 30%.

Следовательно, из неравенства (2.3) получим:

$$t = \frac{130\%}{100\% \cdot 0,33} = 3,94 > 1,96$$

В результате предварительного отбора выявлено, что значимыми факторами в формировании ресурса ШГА в горных карьерных условиях строительства ГТС, являются:

- комплексный показатель дорожных условий D-коэффициента;
- средняя температура воздуха;
- среднее значение на радиальной нагрузки на шину за срок её эксплуатации.

## **2.2 Разработка математических моделей влияния условий эксплуатации на ресурс шин**

### **2.2.1 Разработка математической модели влияния дорожных условий на ресурс шин**

Характерными особенностями карьерных дорог строительства ГТС в горных условиях строительства Рогунской ГЭС являются (рис. 2.1):

- сложность геометрии дорог в плане и в профиле;
- карьерные дороги строительства Рогунской ГЭС являются горными и проложены на высотах от 1050 до 1350 м н.у.м.;
- неровность дорожного полотна часто выходит за пределы требований нормативно-технических документов (ГОСТ–ы, СНИП–ы и др.);
- в целом дорожные условия горных карьеров строительства Рогунской ГЭС отличаются высоким динамизмом, обусловленным высокой долей неустановившихся режимов движения, связанных частыми изменениями скорости

движения автомобиля из-за изменения модуля, направления и точки приложения внешних сил, приложенных к автомобилю.



Рисунок 2.1 – Особенности горных карьерных дорог в условиях строительства Рогунской ГЭС

Немаловажной характерной особенностью карьерных дорог строительства ГЭС в горных условиях строительства Рогунской ГЭС является также их засорение камнями, булыжниками, гравийными и галечниковыми частицами, дресвяными и щебенистыми обломками скальных пород и др. предметами, отличающимся высокой абразивной способностью и являющимися причиной механических повреждений (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Участки горных карьерных дорог на строительстве Рогунской ГЭС.

На отдельных участках горных карьерных дорог строительства Рогунской ГЭС плотность мелкообломочных скальных пород в виде дресвяных, щебенистых

и галечниковых частиц, выпавших из кузова самосвала превышает 120 шт./м<sup>2</sup>. При этом общий их объем достигает до 400–500 см<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>, а общая масса доходит до 1,0–1,2 кг/ м<sup>2</sup> [63].

Погонная плотность  $N_n$  мелкообломочных скальных пород на поверхности карьерной дороги, отнесенная на 1 км пути со средней шириной проезжей части, равной 12 м, определяется по выражению

$$N_n = S_{\partial} \cdot \rho_z, \text{ шт/км} \quad (2.7)$$

где  $S_{\partial}$  – площадь 1-го километра пути, м<sup>2</sup>.  $\rho_z$  – плотность распределения абразивных частиц на поверхности дороги, отнесенных к 1 м<sup>2</sup> площади, шт/м<sup>2</sup>.

При средней ширине проезжей части карьерной дороги, равной 12 м [69], [70], получим

$$S_{\partial} = 1000 \cdot 12 = 12000 \text{ м}^2.$$

Удельная плотность распределения гравийных и галечниковых частиц на поверхности дороги, отнесенное на 1 м<sup>2</sup> площади  $\rho_z$ , меняется в широких пределах ( $\rho_z = 10 \dots 122$  шт/м<sup>2</sup>). При этом среднее значение названного показателя равняется  $\rho_{z,sp} = 64,4$  шт/м<sup>2</sup> (рис. 2.3).

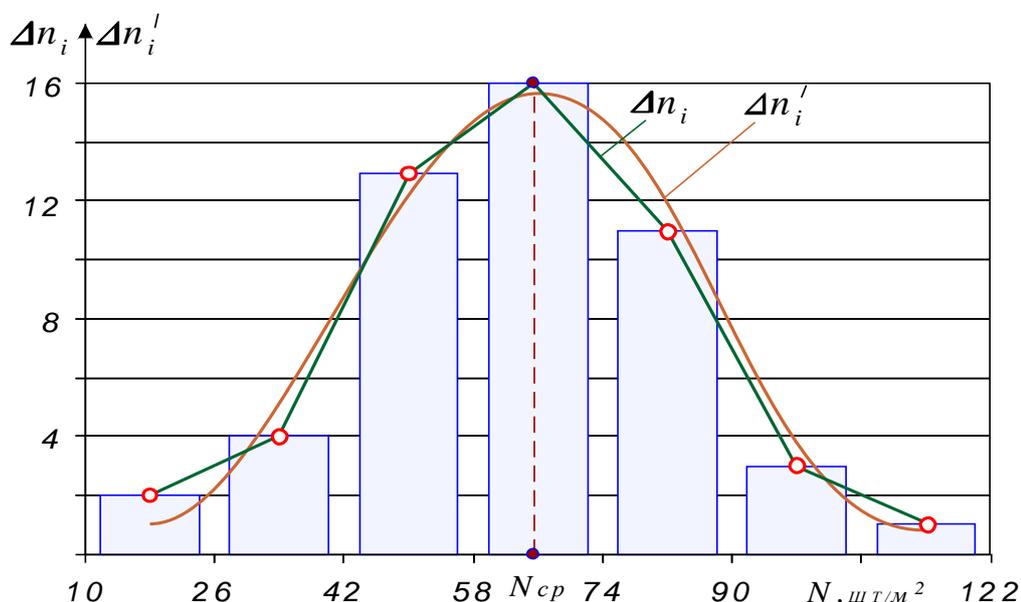


Рисунок 2.3 – Графики результатов статистической обработки удельной плотности распределения гравийных и галечниковых частиц на поверхности дорожного полотна:  $N_{cp} = 64,4$  шт./м<sup>2</sup>;  $\sigma = 20,36$  шт./м<sup>2</sup>;  $v = 31,6\%$ .

Количество мелкообломочных частиц скальной породы на поверхности карьерной дороги  $N_k$  длиной в 1 км, взаимодействующих с протектором шины типоразмера 18.00–25 при движении автомобиля-самосвала БелАЗ–7540В, рассчитывается по формуле

$$N_k = S_k \cdot \rho_z = B_{ш} \cdot L \cdot \rho_z, \text{ шт./км} \quad (2.8)$$

где  $S_k$  – площадь контакта протектора шины на пути в 1 км, м<sup>2</sup>;  $B_{ш}$  – ширина протектора шины, мм. Для шины типоразмера 18.00–25  $B_{ш} = 500 \text{ мм} = 0,5 \text{ м}$  [71, 72];  $L$  – длина пути, км. В данном случае  $L = 1 \text{ км}$ ;  $\rho_z$  – удельная плотность распределения гравийных и галечниковых частиц на поверхности дороги, отнесенное 1 м<sup>2</sup> площади, шт./м<sup>2</sup>.

Количество абразивных частиц на поверхности карьерной дороги  $N_k$  длиной в 1 км, взаимодействующих с протектором автомобильной шины типоразмера 18.00–25 в карьерных условиях при строительстве ГТС, варьирует в пределах от 5 000 до 64 400 шт./км при среднем значении показателя равным 32 200 шт./км.

При длине плечи перевозки, равном 5 км и средней ширине проезжей части дороги, достигающей 12 м, её общая площадь составляет 50 тыс. м<sup>2</sup>. При средней плотности распределения абразивных частиц скального происхождения на поверхности дорожного полотна, равной 64,4 шт./м<sup>2</sup> плотность частиц на поверхности дороги, взаимодействующих с протектором шины автомобиля БелАЗ–7540В (марки 18,00–25, шириной 500 мм) на протяженности пути в 1 км превышает 32000 шт./км.

Итак, наиболее важными факторами, которые должны быть приняты во внимание для оценки влияния горной карьерной дороги на ресурс шины, являются: засоренность поверхности дороги абразивными частицами скальной породы; неровность дорожного покрытия; скопление крупнообломочных горных пород на обочине дороги и др. Из-за многообразия факторов, определяющие ресурс шины на карьерных дорогах, усложняется доля влияния каждого отдельного фактора.

Для оценки влияния горной карьерной дороги строительства ГТС предлагается воспользоваться обобщающим динамическим коэффициентом  $K_D$

[10], учитывающим совместное (комплексное) влияние многочисленных факторов на формирование ресурса шин. Обобщающий динамический коэффициент дороги определяется из выражения

$$k_D = 1 - k_d. \quad (2.9)$$

Следовательно, зависимость ресурса ШГА от дорожных условий горных карьеров строительства ГТС можно определить из выражения

$$L_{\text{шр}}^D = L_{\text{шн}} \cdot k_D = L_{\text{шн}} \cdot (1 - k_d). \quad (2.10)$$

### **2.2.2 Моделирование влияния температуры воздуха на формирование ресурса шин грузовых автомобилей в горных условиях**

Температура воздуха является одной из основных факторов, определяющих интенсивность изнашивания шин [73]. Климат в Республике Таджикистан, в частности и на строительстве Рогунской ГЭС является резко континентальным, а времена года сменяются не всегда в соответствии с календарными сроками и характеризуются сезонной сменой воздушных масс с преобладающей воздушной массой умеренных широт. Следовательно, территория Республики Таджикистан, в том числе и горные регионы периодически оказываются преимущественно под влиянием жаркого тропического воздуха и нередко – холодного арктического [74].

На основе исследований Габашвили А.А. [75], Глускиной Л.С. [76], Гуслицера Р.Л. [39] и Ivanov R. [77] можно утверждать о том, что с ростом температуры воздуха имеет место увеличения температуры поверхности шины по линейной зависимости (рис. 2.4). Повышение температуры шины приводит к изменениям механических свойств материала протектора, что, в свою очередь, служит причиной интенсивности изнашивания  $u_t$  [78].

По результатам исследований многочисленных авторов [75, 79, 80, 81, 82] установлено, что температура шины превышает температуру окружающей среды на 40...80 °С. Этот же показатель для грузовых автомобилей, эксплуатируемых в

горных условиях строительства Рогунской ГЭС, варьирует в пределах 50...60°C [83,84].

С изменением температуры окружающего воздуха, как следствие, и температуры шины, коэффициент сцепления протектора с дорожным полотном меняется по сложному закону.

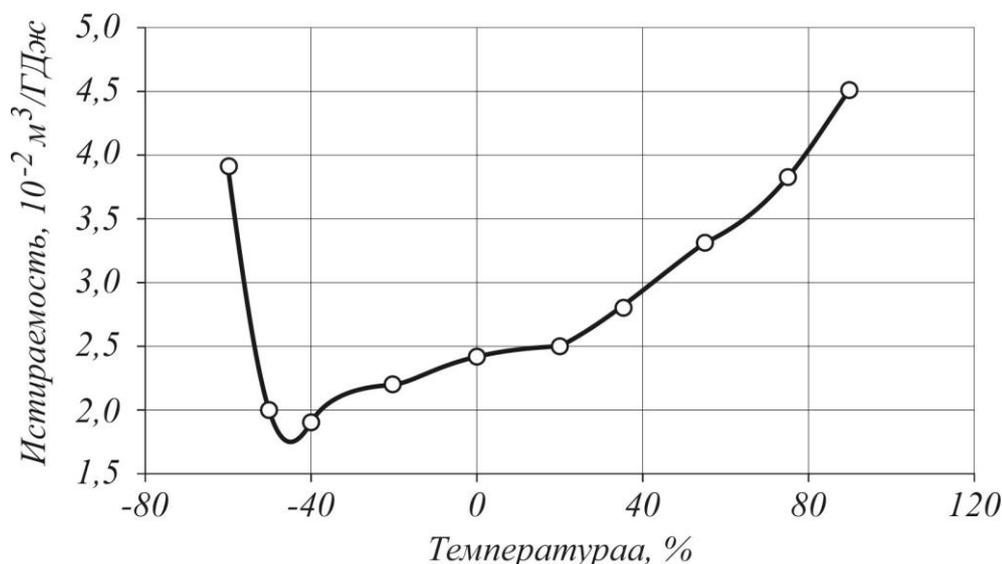


Рисунок 2.4 – Влияние температуры воздуха на истираемость протекторной резины

Для описания данной закономерности профессор Захарова Н.С. [44] предлагает показательную зависимость:

$$u = a \cdot \varphi^{1,9}, \quad (2.11)$$

где:  $a$  – удельный износ рисунка протектора, отнесенный к единице коэффициента сцепления, мм;  $\varphi$  – коэффициент сцепления протектора шины с дорожным полотном.

Значение удельного износа рисунка протектора  $a$  имеет тесную связь с температурой шины. С учетом того, что в процессе эксплуатации автомобилей в горных условиях строительства Рогунской ГЭС температура поверхности шины на 50...60°C превышает температуру воздуха, то кривые для данных условий эксплуатации следует сдвинуть на 55°C влево (рис. 2.5).

Ось ординаты (интенсивности изнашивания) проградуируем в процентах. При этом принимаем за 100% интенсивность изнашивания, соответствующего 0°C. Численное значение интенсивности изнашивания  $a$  в зависимости от температуры воздуха определяется из отношения

$$a = u / \varphi^{1,9} \quad (2.12)$$

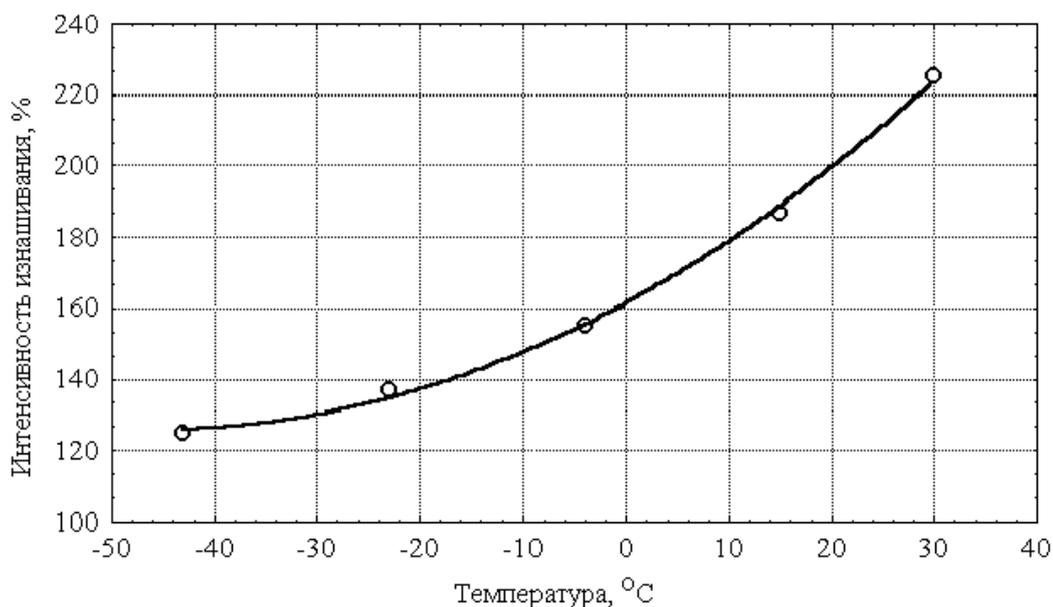


Рисунок 2.5 – Зависимость интенсивности изнашивания шин от температуры при постоянном коэффициенте сцепления

Из приведенных графиков (рис.2.4 и 2.5) следует, что минимум кривой  $u_t = f(t)$  достигает в пределах температур от 0 до +5°C при неустановившемся режиме движения, а при работе автомобилей на длинных плечах грузоперевозок минимум показателя соответствует -5...-10 °C.

Зависимость средней интенсивности изнашивания  $u_{t_{cp}}$  от средней температуры воздуха  $t_{cp}$  определяется из следующего интегрального уравнения

$$u_{t_{cp}} = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) \cdot f(t) \cdot dt, \quad (2.13)$$

где  $\psi(t)$  - зависимость интенсивности изнашивания от температуры воздуха, согласно графику, представленному на рис. 2.6;  $f(t)$  - функция распределения температуры воздуха;  $t$  - температура воздуха, °C.

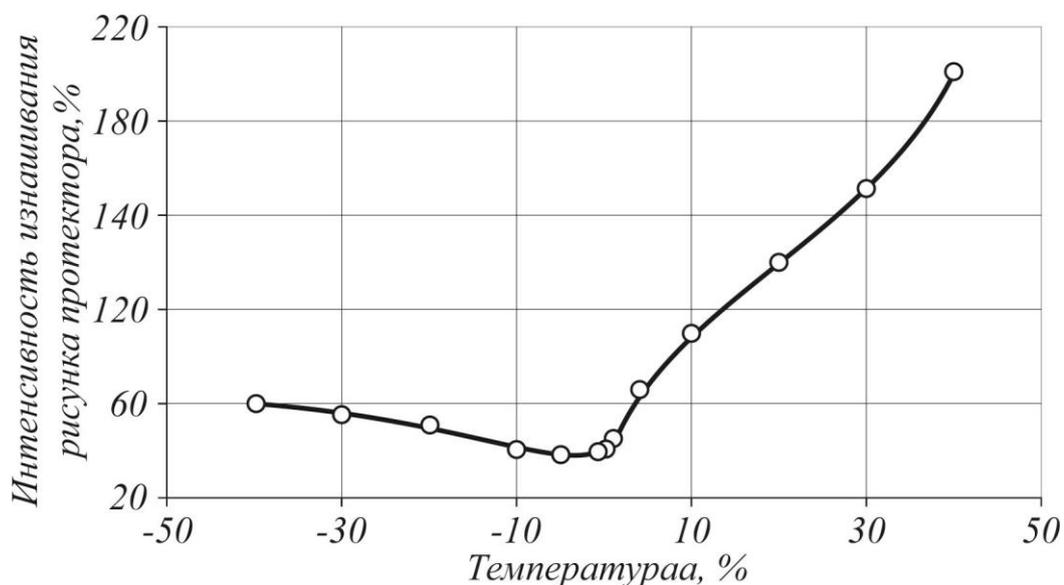


Рисунок 2.6 – Зависимость средней интенсивности изнашивания шин от средней температуры воздуха.

Для адекватного представления зависимости интенсивности изнашивания шины от температуры воздуха  $u_t=f(t)$  необходимо выбрать вид математической модели. В горных условиях при строительстве Рогунской ГЭС температура воздуха варьирует в широких пределах (-20...+40), а зависимость интенсивности изнашивания  $u_t$  от температуры  $t$  имеет U – образный вид, то данную зависимость можно аппроксимировать квадратичной математической моделью [85]:

$$u_t = u_{0t} + S_t (t_{\text{ср}} - t_0)^2, \quad (2.14)$$

где  $u_{0t}$  – оптимальное (нормативное) значение интенсивность изнашивания шины;  $S_t$  – параметр чувствительности протекторной резины к изменению температуры воздуха;  $t_0$  – температура окружающего воздуха, соответствующая минимальному износу шины.

На практике обычно пользуются средним значением интенсивности изнашивания шины  $u_{\text{ср}}$  за определенную наработку, то математический модель можно представить в виде:

$$u_{\text{ср}} = (u_{0t} + S_t (t - t_0)^2)_{\text{ср}} \quad (2.15)$$

В выражении (2.15) не случайную величину  $u_{0t}$  можно вынести за знак математического ожидания (согласно теоремы о вынесении неслучайной величины за знак математического ожидания) [86]:

$$u_{tcp} = u_{0t} + S_t((t - t_0)^2)_{cp} \quad (2.16)$$

В соответствии с теоремой о математическом ожидании произведения случайных величин [86], имеем:

$$((t - t_0)^2)_{cp} = ((t - t_0)(t - t_0))_{cp} = (t - t_0)_{cp} \cdot (t - t_0)_{cp} + K, \quad (2.17)$$

где  $K$  – корреляционный момент.

Согласно принятому определению корреляционного момента [86] из выражения (2.17) получим:

$$K = (((t - t_0)(t - t_0)_{cp}))_{cp} = (((t - t_0) - (t - t_0)_{cp})^2)_{cp} \quad (2.18)$$

Выражение (2.18) можно выразить в виде математического ожидания квадрата центрированной случайной величины [86]:

$$K = (((t - t_0) - (t - t_0)_{cp})^2)_{cp} = \sigma_{t-t_0}^2. \quad (2.19)$$

Подставляя полученное выражение в уравнение (2.17), получим:

$$((t - t_0)^2)_{cp} = (t - t_0)_{cp}^2 + \sigma_{t-t_0}^2 \quad (2.20)$$

Согласно теореме о вынесении неслучайной величины за знак математического ожидания или дисперсии [86] последнее выражение перепишем в виде [81]:

$$(t - t_0)_{cp}^2 + \sigma_{t-t_0}^2 = (t_{cp} - t_0)^2 + \sigma_t^2 \quad (2.21)$$

Следовательно, формула (2.16) примет вид:

$$u_{tcp} = u_{0t} + S_t(t_{cp} - t_0)^2 + S_t\sigma_t^2 \quad (2.22)$$

где  $t_{cp}$ ,  $\sigma_t^2$  – среднее значение температуры окружающего воздуха и её дисперсия за рассматриваемый период времени.

Путем замены переменных уравнение (2.22) может быть линеаризовано в виде нижеследующей модели:

$$u_{tcp} = u_{0t} + S_t X \quad (2.23)$$

где  $X = (t_{cp} - t_0)^2 + \sigma_t^2$

Адекватность полученной математической модели (2.22) исследуемому процессу (интенсивности изнашивания протекторной резины) проверяется на основе результатов экспериментальных исследований.

В процессе многолетних исследований для горных условий строительства Рогунской ГЭС были установлены зависимости относительной интенсивности изнашивания ШГА от температуры окружающей среды, результаты которых представлены в табл. 2.3.

Таблица 2.3 – Зависимость относительной интенсивности изнашивания ШГА от температуры окружающей среды

Показатель	Числовые значения							
Температура воздуха, $t$ в $^{\circ}\text{C}$	-25	-15	-5	5	15	25	35	45
Относительная интенсивность износа шины, $R(x)$ в %	30	12	3	4	36	90	152	190

В зависимости от температуры воздуха определена относительная интенсивность изнашивания рисунка протектора автомобильных шин марки 12.00R20–18PR, эксплуатируемых в горных условиях Республики Таджикистан. По результатам исследований построен график зависимости относительной интенсивности изнашивания рисунка протектора от температуры воздуха (рис. 2.7).

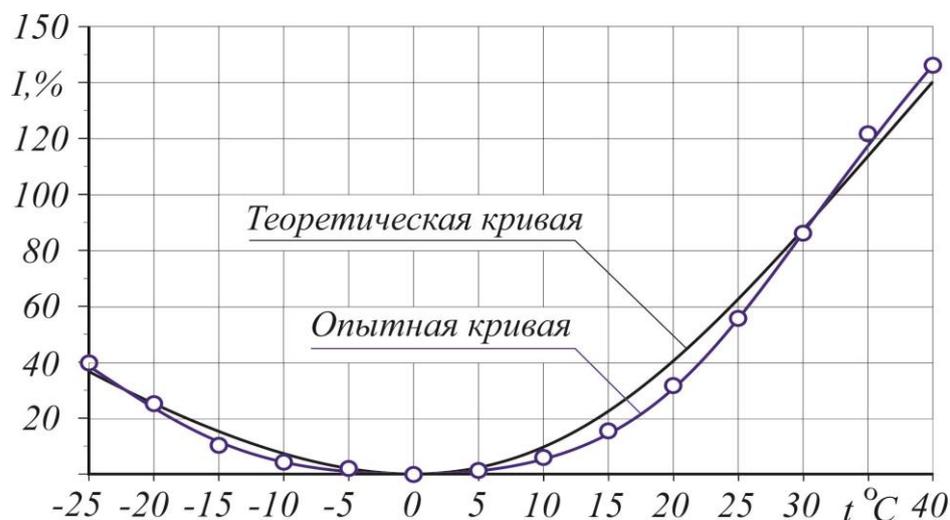


Рисунок 2.7 – График зависимости относительной интенсивности износа ШГА от температуры воздуха (график)

На основе результатов исследований для определения зависимости относительной интенсивности изнашивания рисунка протектора шины грузового автомобиля от температуры окружающей среды предлагается эмпирическая формула в виде интерполяционного многочлена Лагранжа [74]

$$R(x) = 0,0005t^3 + 0,0825t^2 + 0,7375t + 4,6875, \quad (2.24)$$

где  $t$  – температура окружающей среды, °С.

Следует отметить, что интенсивность изнашивания шины грузового автомобиля определялась как отношение значения износа протектора к обусловленному пути, на котором происходит изнашивание, или объему выполненной работы [74].

$$i(x) = \frac{\Delta h}{\Delta L}, \text{ мм}/(1000\text{км}), \quad (2.25)$$

где  $\Delta h$  – значение износа протектора автомобильной шины, мм;  $\Delta L$  – путь, пройденный автомобилем, 1000 км.

Относительная интенсивность изнашивания автомобильной шины – определялась как отношение значения интенсивности износа автомобильной шины при заданной температуре окружающей среды к значению интенсивности износа автомобильной шины при нулевой температуре окружающей среды, принятого за эталон

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

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

### **2.2.3 Математическая модель зависимости интенсивности изнашивания шин грузовых автомобилей от радиальной нагрузки**

На основе результатов экспериментально-теоретических исследований ресурса шин, проведенных сотрудниками Технологического парка Таджикского технического университета им. М.С. Осими совместно с сотрудниками основного строительства Рогунской ГЭС, методом априорного ранжирования выявлено, что

влияние радиальной нагрузки на формирование ресурса шин относится к числу наиболее значимых факторов.

Модуль, направление и точка приложения радиальной нагрузки на шину имеют вероятностный характер и для условий эксплуатации в горных карьерах строительства Рогунской ГЭС распределены в достаточно широких пределах. Варьирование значения данного фактора характерно не только для разных по конструкции автомобилей, выполняющих различные виды работ при разных дорожных и климатических условиях, но и для одного и того же автомобиля в пределах одного маршрута в достаточно коротких промежутках времени.

Для оценки влияния радиальной нагрузки на ресурс автомобильной шины  $L_{ш}$  обычно пользуются выражением [87]

$$L_{ш} = c + \frac{d}{G}, \quad (2.27)$$

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

Среднее значение радиальной нагрузки  $G$ , действующей на отдельную шину, определяется из выражения:

$$G = \frac{G_0 + q \cdot \gamma \cdot \beta}{n_h}, \quad (2.28)$$

где  $G_0$  – собственный вес автомобиля;  $q$  – грузоподъемность;  $\gamma$  и  $\beta$  – соответственно, коэффициенты использования грузоподъемности и пробега.

Подставляя значение радиальной нагрузки, действующей на отдельную шину, из уравнения (2.28) в уравнение (2.27) получим:

$$L_{ш} = c + \frac{d \cdot n_h}{G_0 + q \cdot \gamma \cdot \beta}. \quad (2.29)$$

$$\text{Обозначим } h = d \cdot n_h, \text{ получим } L_{ш} = c + \frac{h}{G_0 + q \cdot \gamma \cdot \beta}, \quad (2.30)$$

где  $h$  – параметр модели.

На основании выражения (2.30) для автомобильных шин 18.00–25, используемых на автомобилях БелАЗ–7540В построен график зависимости их ресурса от радиальной нагрузки (рис. 2.8).

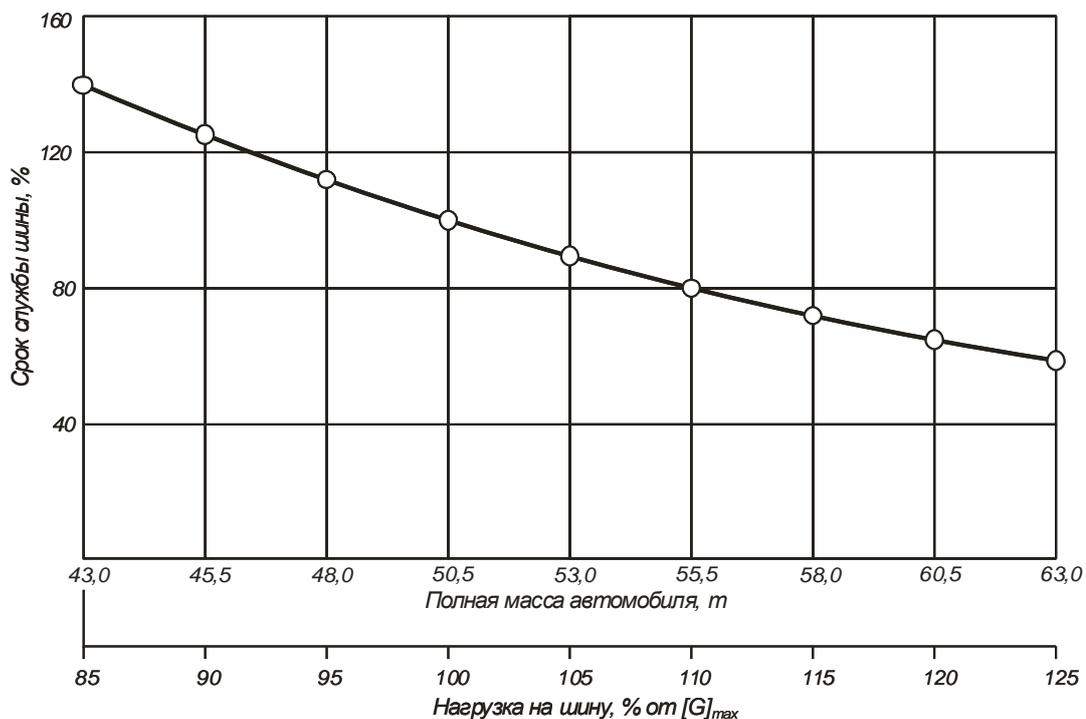


Рисунок.2.8 – График зависимости ресурса автомобильных шин 18.00–25 от радиальной нагрузки.

Применимость настоящего графика обоснована статистической обработкой эмпирических данных о полной массе грузовых автомобилей, эксплуатируемых в условиях карьерных дорог строительства Рогунской ГЭС. При этом объем выборки составлял  $N=420$ , максимальное и минимальное значения полной массы автомобиля, соответственно,  $G_{max} = 59 \text{ т}$  и  $G_{min} = 45 \text{ т}$ . На основании статистической обработки данных построены графики эмпирических и теоретических функций распределения частот полной массы грузовых автомобилей (рис. 2.9).

Из приведенных графиков видно, что свыше 70% большегрузных автомобилей-самосвалов БелАЗ–7540В, занятых перевозкой грунта и карьерной продукции, работают с полной массой, превышающей установленную норму.

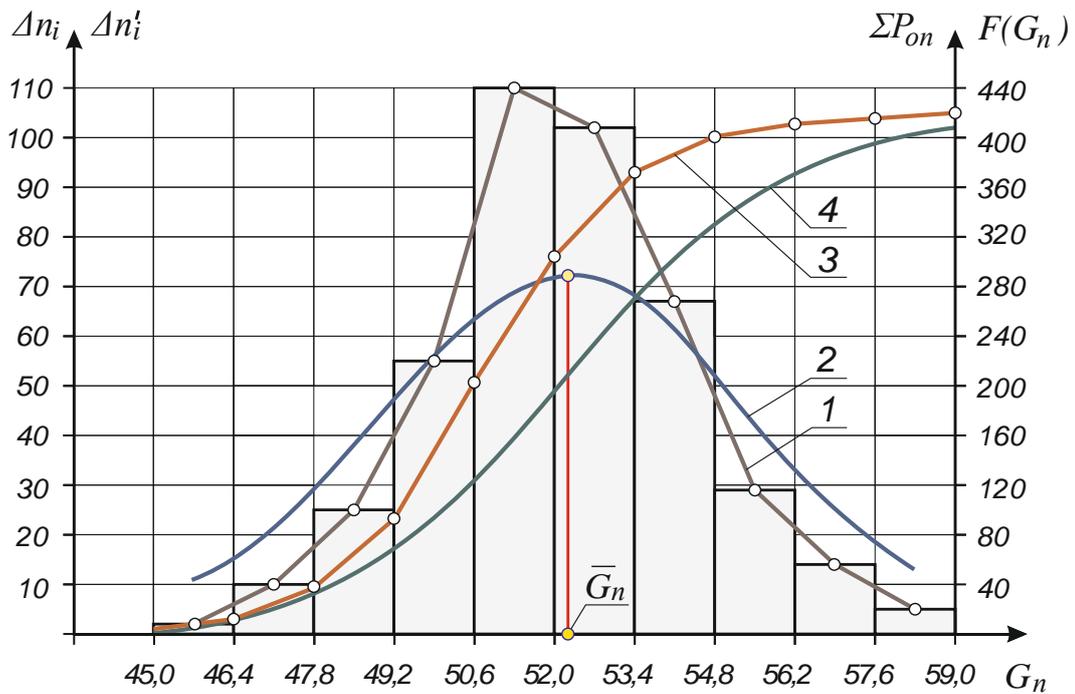


Рисунок 2.9 – Графики эмпирической и теоретической функций распределения частот полной массы грузовых автомобилей, эксплуатируемых в условиях строительства Рогунской ГЭС. Среднее арифметическое значение полной массы автомобиля равняется  $G_{cp} = 52,17 \text{ t}$ , среднее квадратичное отклонение –  $\sigma = 3,26 \text{ t}$  и коэффициент вариации –  $v = 6\%$ . 1- полигон распределения; 2- дифференциальная кривая распределения; 3 - кривая накопленных опытных вероятностей; 4 - интегральная кривая распределения.

Для условий строительства Рогунской ГЭС характерным является снятие ШГА по причине полного износа рисунка протектора, что в основном составляет около 85...90%, а остальное из-за механических повреждений.

Исследованиями ряда авторов [88, 89, 92] установлено, что влияние нормальной нагрузки на ресурс шин  $u_Q$  можно описать уравнением:

$$u_q = a \cdot G_{\alpha} \quad (2.31)$$

где  $a$  – удельный износ рисунка протектора автомобильной шины, отнесенный на единицу полного веса автомобиля, мм/т;  $G_{\alpha}$  – полная масса автомобиля, т.

График зависимости ресурса ШГА от радиальной нагрузки представлен на рисунке 2.10.

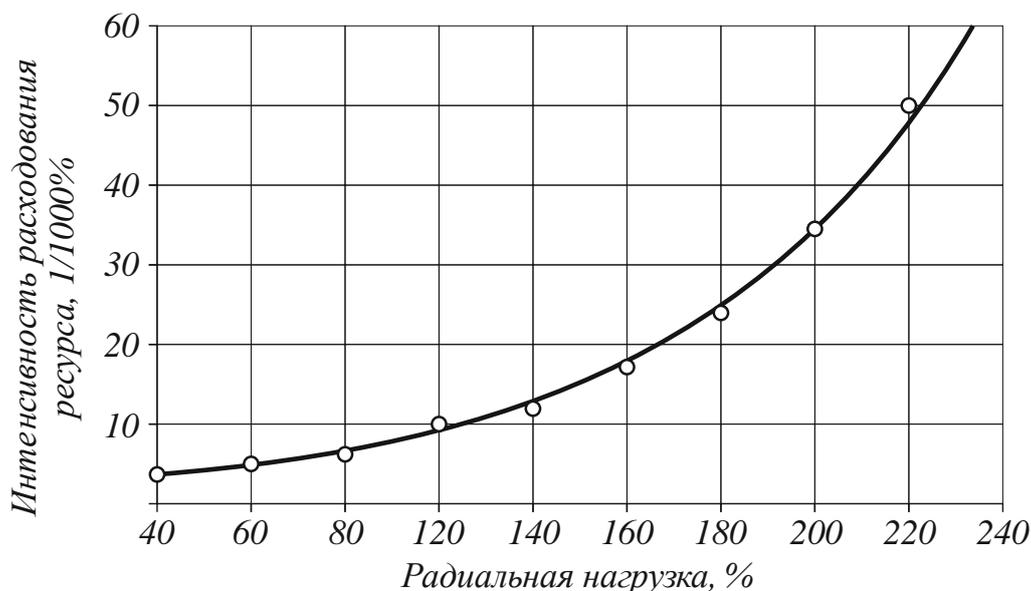


Рисунок 2.10 – Влияние радиальной нагрузки на ресурс ШГА

На основе анализа результатов исследований [91] можно утверждать, что в интервале 50...150% от номинальной нагрузки на шину, рассматриваемая зависимость хорошо согласуется с линейной моделью. При этом за номинальную нагрузку принята нагрузка, отвечающая соответствующим условиям: среднее значение загрузки автомобиля-самосвала соответствует 100% номинальной грузоподъемности, а доля груженого пробега – 0,5. Согласно выражению (2.3.) за номинальную нагрузку принимают 75% от расчетной нагрузки для данного автомобиля-самосвала. Следовательно, на основе приведенных данных можно утверждать, что максимально допустимая нагрузка на шину составляет  $1/0,75=1,33$  от номинальной нагрузки.

Таким образом, влияние радиальной нагрузки на формирование ресурса шины автомобиля-самосвала можно описать линейной математической моделью, что характерно для условия эксплуатации автомобиля в горных условиях строительства Рогунской ГЭС. Следовательно, для описания зависимости  $u_Q = f(G_{cp})$  в данных условиях можно использовать линейную модель:

$$u_{Q\text{ ср}} = u_Q + S_Q \cdot G_{cp}, \quad (2.32)$$

где  $u_Q$  – оптимальная (минимальная) интенсивность изнашивания, соответствующая движению автомобиля-самосвала в порожнем виде;  $S_Q$  –

параметр чувствительности  $u_{Qcp}$  к изменению  $G_{cp}$ ;  $G_{cp}$  – средняя за срок эксплуатации нагрузка на шину.

#### **2.2.4 Моделирование комплексного влияния факторов на формирование ресурса шин грузовых автомобилей в условиях строительства Рогунской ГЭС**

Шина считается дорогостоящим элементом грузового автомобиля. Дороговизна автомобильных шин формируется во всех этапах их жизненного цикла, и она особенно усугубляется сокращением срока службы, затратами на хранение ГОСТ 26585-2003 [37] и ГОСТ 13298–90 [38], утилизацией и повторным использованием [92].

Для получения адекватной оценки и корректирования ресурса шины грузового автомобиля в горных условиях при строительстве ГЭС путем моделирования комплексного влияния факторов сложность процесса контакта шины с дорогой является доминирующим показателем. [93]

Сложность характера контакта шины с карьерной дорогой при строительстве ГЭС в горных условиях прежде всего связана со сложностью учета и оценки характера взаимодействия шины с дорожным полотном. Горным карьерным дорогам свойственны чрезмерная неровность дорожного полотна, наличие предметов с острыми кромками, наличие камней достаточно большого размера, выступающих над дорожным полотном (до 10 см и более).

Карьерные автомобильные дороги в горных условиях РТ отличаются тем, что большинство участков автомобильной дороги засыпаны абразивными породами, такими как песок, дресвяные и щебенистые обломки скального происхождения. Указанные абразивные частицы засыпаны на твердую основу дорожного полотна, что способствует к росту интенсивности изнашивания и механических повреждений шины. Поперечные профили карьерных дорог не везде соответствуют требованиям СНиП, имеются частые обратные уклоны и вогнутость формы [10].

Кроме того, сложность контакта при взаимодействии шины с дорогой проявляется в том, что неровности дороги обуславливают изменение динамических характеристик автомобиля, его агрегатов, систем и узлов. В то же время переменный динамизм автомобиля ещё больше способствует усложнению контакта между шиной и дорогой. При этом колебания динамических параметров варьируют в достаточно широких пределах, характеризуются знакопеременностью, а также непростой амплитудно-частотной характеристикой [94]. Это обстоятельство обусловлено колебаниями модуля, направления и точки приложения сил взаимодействия в площади контакта, которые формируют динамизм процесса движения автомобиля.

Другая важная характеристика сложности контакта шины с дорожным полотном заключается в том, что эти контакты не постоянны, и колеса автомобиля на определенное время могут отрываться от поверхности дороги. Продолжительность отрыва колеса от поверхности дороги зависит от скорости движения, состояния дороги, технического состояния ходовой части автомобиля, радиальной нагрузки на колеса [95]. Из-за отрывистости контакта между шиной и дорожным полотном, шина работает в режиме с переменными ударами, передавая или преобразуя сотни кВт мощности.

Сложность контакта шины с дорожным полотном определяется также колебаниями значений коэффициента сцепления шины с поверхностью дороги в зависимости от вида и состояния дорожного покрытия, типа, конструкции, рисунка протектора и состояния шины, скорости движения, а также нагрузки на колесо, температуры и др. факторов, которые могут колебаться в очень широких пределах (от близкой к нулю до единицы и выше). В формировании ресурса шин наиболее значимыми факторами выступают температура воздуха, состояние дорожного покрытия и величина проскальзывания шины месте контакта с дорогой [19, 96].

Эти и другие факторы, обуславливающие сложность контакта между шиной и поверхностью горной карьерной дороги, выступают причиной сложного напряженного состояния и, следовательно, ускоренного износа рисунка

протектора, а в конечном счете приводит к снижению эксплуатационной эффективности шины.

Прогнозирование пробега автомобильных шин, эксплуатируемых в условиях переменного рельефа местности, является актуальной проблемой [97]. Вопрос корректирования нормативного ресурса шин большегрузных автомобилей в условиях реальной эксплуатации ресурса шин также были рассмотрены в предыдущих работах [62].

При эксплуатации грузовых автомобилей в сложных условиях строительства горных ГТС на ресурс автомобильной шины так или иначе влияют свыше сорока факторов [98], влияние которых характеризуются непостоянством и варьируют в достаточно широких пределах. Более того, сочетание влияния большого разнообразия факторов, определяющих износ, следовательно, и срок службы шины также отличается изменчивостью и относится к событию, имеющему вероятностный характер с широкими пределами значений числовых характеристик [20]. Можно предполагать, что при определении и корректировании ресурса ШГА невозможно учитывать влияние каждого из названных факторов в отдельности [99]. Для этой цели в качестве наиболее значимых факторов, определяющих и формирующих ресурс ШГА, можно выделить дорожно-климатические условия и радиальную нагрузку. Тогда упрощенную математическую модель для корректирования ресурса ШГА в горных условиях строительства ГТС (на примере строительства Рогунской ГЭС)  $L_{ш}^k$  можно выразить следующей зависимостью [61]:

$$L_{ш}^k = L_{ш}^h \cdot k_D \cdot k_T \cdot k_N \cdot k_{пр} = L_{ш}^h \cdot (1 - k_d) \cdot k_T \cdot k_N \cdot k_{пр}, \text{ тыс.км} \quad (2.33)$$

где  $R_{ш}^h$  – нормативный ресурс шины грузового автомобиля в нормальных условиях эксплуатации, тыс.км (для шин типоразмера 18.00–25  $L_{ш}^h = 45000$  тыс.км);  $k_D = (1 - k_d)$  – обобщающий динамический коэффициент корректирования ресурса шин;  $k_d$  – динамический коэффициент дорожных условий;  $k_T$  – корректирующий коэффициент влияния температуры окружающей среды на формирование ресурса шин;  $k_N$  – корректирующий коэффициент влияния радиальной нагрузки на формирование ресурса шин;  $k_{пр}$  –

корректирующий коэффициент, учитывающий влияние прочих факторов на формирование ресурса шин [61].

Значение среднего значения радиальной нагрузки, действующего на отдельную шину  $P_{ш}^{cp}$  определяется из выражения

$$P_{ш}^{cp} = \frac{\Sigma P}{n_k} \cdot \eta, \text{ кН} \quad (2.34)$$

где  $\Sigma P$  – суммарное значение радиальной нагрузки, передаваемой от автомобиля к дорожному полотну,  $H$ ;

$\eta$  – коэффициент распределения веса автомобиля по осям, %;

$n_k$  – число колес автомобиля на каждой оси, шт.

Суммарное значение радиальной нагрузки  $\Sigma P$ , передаваемой от автомобилей–самосвалов, цементовозов, бензовозов и тому подобных грузовых автомобилей к дорожному полотну можно определить из выражения [61]:

$$\Sigma P = (m_c + \frac{m_g}{2})g \cdot \eta, \text{ кН} \quad (2.35)$$

где  $m_c$  – полная снаряженная масса автомобиля, кг;  $m_g$  – масса груза, кг;

$g = 9,81\text{м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

### **2.3 Вероятностно–статистическая оценка влияния факторов, влияющих на пробег автомобильных шин в условиях строительства Рогунской ГЭС**

Из большого разнообразия факторов, определяющих ресурс ШГА, эксплуатируемых в сложных дорожно-климатических условиях, немаловажным фактором выступает вероятностный характер внешних воздействий на колеса автомобиля. Строго говоря, все факторы, определяющие ресурс ШГА, эксплуатируемых в сложных дорожно-климатических условиях, имеют вероятностный характер или колеблются случайным образом. Основными факторами, формирующими сложный стохастический характер внешних воздействий на автомобиль при выполнении им транспортных работ в условиях строительства горных ГЭС, как было указано выше, выступают колебания

дорожных условий, температура окружающего воздуха и радиальная нагрузка на шину [20].

При выполнении транспортных работ в условиях горных карьеров колебания внешних воздействий на грузовой автомобиль можно разделить на две категории [100]:

– высокочастотные (кратковременные периодические колебания с периодом  $T \leq 1 \dots 2$  с и незначительной амплитудой), которые преодолеваются инерцией масс большегрузного автомобиля и практически не сказываются на колебания его тягового сопротивления, и как следствие, на формирование ресурса шин;

– низкочастотные (колебания с периодом  $T \geq 1 \dots 2$  с), обусловленные в основном совместным проявлением вышеназванных факторов, которые существенно сказываются на колебания тягового сопротивления автомобиля. К ним относятся неравномерность крутящих моментов на колесах, скорость движения автомобиля, сложный рельеф местности, профиль дороги и экстремальное состояние дорожного покрытия, случайное распределение нормальной нагрузки по осям и колесам автомобиля, а также частота маневров и др [20].

При вероятностном характере внешних воздействий на колеса автомобиля контакт между шиной и дорожным полотном осуществляется в нестабильном и динамичном режиме, что в значительной мере способствует развитию и ускорению процесса изнашивания. Скорость изнашивания автомобильной шины зависит от значения коэффициента вариации крутящего момента на колесе и тягового усилия автомобиля. Можно предположить, что коэффициент вариации колебаний внешних воздействий (крутящего момента), приложенных на колеса автомобиля, может находиться в пределах 10 – 15% в зависимости от сложности условий эксплуатации (увеличивается с повышением нагрузки) и при этом скорость износа протектора шины увеличивается до 10% [20].

Оценка влияния колебаний внешних воздействий, определяющих динамику взаимодействия автомобильной шины с дорожным полотном, в зависимости от объема выборки, характера протекания процесса, состояния исследуемого объекта

и других факторов осуществляется несколькими методами, основанными на теории вероятностей. Три из них можно рекомендовать для адекватной оценки влияния внешних воздействий на выходные показатели большегрузного автомобиля-самосвала, в частности для оценки процесса взаимодействия автомобильной шины с дорожным полотном, учитывая его вероятностный характер [20]:

- метод аппроксимации внешней нагрузки периодической функцией типа синусоиды с определенными значениями амплитуды и периода колебаний [101];
- метод разложения периодической функции в ряды Фурье [102];
- вероятностно-статистический метод основан на учете действия множеств случайных факторов, которые характеризуются устойчивой частотой [103].

Первый метод, предложенный академиком В.Н. Болтинским [100], для моделирования действия неустановившейся внешней нагрузки на сельскохозяйственный агрегат с использованием периодической функции при фиксированных значениях амплитуды  $A_m$  и периода  $T_m$  колебаний можно применять для моделирования действия неустановившейся внешней нагрузки (крутящего момента, мощности) на колеса большегрузного автомобиля [20]:

$$M_t(t) = \bar{M}_k + A_m \sin mt = \bar{M}_k(1 + 0,5\delta_m \sin mt), \quad (2.36)$$

где  $\bar{M}_k = 0,5(M_{max} + M_{min})$  – среднее значение момента сопротивления на колесах автомобиля;

$A_m = 0,5\bar{M}_k\delta_m$  – амплитуда колебаний;

$\delta_m = 2A_m/\bar{M}_k$  – степень неравномерности величины  $M_k$ ;

$m = 2\pi/T_m$  – частота периодического колебания;

$T_m$  – период колебаний величины  $M_k$ ;

$M_{max} = \bar{M}_k(1 + 0,5\delta_m)$  и  $M_{min} = \bar{M}_k(1 - 0,5\delta_m)$  – максимальное и минимальное значения момента сопротивления на колесах автомобиля.

Второй метод предлагает оценку влияния внешних воздействий по методу разложения периодической функции в ряды Фурье, сущность которого заключается в следующем: если периодическая функция  $f(t)$  с периодом  $T_0$  удовлетворяет условиям Дирихле, то ее можно аппроксимировать выражением:

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (A_k \cos k\omega_0 t + B_k \sin k\omega_0 t), \quad (2.37)$$

где  $A_0$  – постоянное слагаемое (среднее значение функции);

$k$  – порядок внешней гармоники ( $k = 0; 1; 2; \dots; \infty$ );

$A_k$  и  $B_k$  – коэффициенты тригонометрического ряда Фурье;

$\omega_0 = 2\pi/T_0$  – круговая частота основной гармоники;

$t$  – период основной гармоники, равный периоду функции;

Коэффициенты  $A_0$ ,  $A_k$  и  $B_k$  определяются из выражений:

$$\begin{aligned} A_0 &= \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} f(t) dt; \\ A_k &= \frac{2}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} f(t) \cos \omega_0 t dt; \\ B_k &= \frac{2}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} f(t) \sin \omega_0 t dt. \end{aligned} \quad (2.38)$$

Для достижения требуемой точности и упрощения оценки влияния внешних воздействий на автомобильную шину по второму методу во многих случаях достаточно рассматривать первые 10...12 гармоник периодической функции  $f(t)$  [20].

Работу автомобильного колеса или режим качения автомобильной шины можно также оценить комплексным вероятностно-статистическим методом с помощью аналитических зависимостей по детерминированным (стендовым) характеристикам автомобиля.

Для определения мощности автомобиля или крутящего момента на колесах автомобиля в эксплуатационных условиях можно применить формулу, предложенную профессором С.И. Иофиновым [3]:

$$N^{\mathcal{D}} = N_{\mathcal{E}} \cdot \lambda_d \cdot \lambda_t \cdot \lambda_v, \quad (2.39)$$

где  $N_{\mathcal{E}}$  – эксплуатационная мощность автомобиля по стендовой (детерминированной) характеристике;

$\lambda_d$  – динамический коэффициент (предложен академиком В.Н. Болтинским), который учитывает снижение мощности автомобиля в неустановившихся нагрузках;

$\lambda_t$  – временной коэффициент, который учитывает снижение мощности автомобиля, вызванное износом, регулировками и старением;

$\lambda_v$  – вероятностный коэффициент, который учитывает изменение мощности автомобиля, вызванное вероятностным характером факторов, определяющих пробег шины большегрузных автомобилей в условиях высокогорья.

При вероятностно-статистической оценке влияния факторов на пробег автомобильных шин в сложных дорожно-климатических условиях эксплуатации целесообразно пользоваться методом функций случайных аргументов, при котором входная  $x$  и выходная  $y$  переменные величины определяются детерминированной функциональной зависимостью  $y_i = f(x)$ , устанавливаемой в процессе аппроксимации типовой (стендовой) характеристики автомобиля [20].

Вероятностный характер факторов, влияющих на работу автомобильной шины  $x_i$ , выходные переменные  $y_i$  представляют собой случайные величины, количественные характеристики которых в общем случае рассчитываются по следующим формулам [20]:

$$\text{– среднее значение } \bar{y} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\varphi(x) d(x); \quad (2.40)$$

$$\text{– дисперсия } D(y) = \int_{-\infty}^{\infty} [f(x) - \bar{y}]^2 \varphi(y) d(x); \quad (2.41)$$

$$\text{– среднее квадратическое отклонение (стандарт) } \sigma_y = [D(y)]^{1/2}; \quad (2.42)$$

$$\text{– коэффициент вариации } \nu_y = \sigma_y / \bar{y}. \quad (2.43)$$

Следует отметить, что низкочастотные составляющие эксплуатационных и дорожно-климатических факторов изменяются по нормальному закону распределения  $y=f(x)$ , плотность распределения вероятностей которого рассчитывается из выражения

$$\varphi(x) = (\sigma_x \sqrt{2\pi})^{-1} \exp\left[-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma_x^2}\right], \quad (2.44)$$

где  $\bar{x}$ ,  $\sigma_x$  и  $\sigma_x^2$  – соответственно среднее значение, стандарт и дисперсия случайной величины  $x$ .

Таким образом, для получения основных оценок надежности и долговечности шин большегрузных автомобилей с учетом вероятностно-статистического характера факторов, влияющих на пробег шин, необходимо

установить законы распределения входных  $\varphi(x)$  и выходных  $\varphi(y)$  переменных, а также функции связи  $f(x)$ , входящие в выражения (2.40) ... (2.44).

## 2.4 Методы корректирования нормативов ресурса шин

В условиях рыночной экономики снижение себестоимости грузоперевозок занимает важное место среди прочих факторов, обуславливающих эффективность функционирования различных отраслей народного хозяйства страны, необходимым условием для реализации которого является разработка и внедрение новой системы планирования и экономического стимулирования наиболее полного использования ресурса автотранспортных средств, в том числе ШГА в различных эксплуатационных условиях.

Эффективность транспортного процесса в условиях строительства Рогунской ГЭС базируется на надежности подвижного состава, в том числе на надежности наиболее уязвимых его элементов, к числу которых относятся автомобильные шины. Последнее обеспечивается в процессе его производства, эксплуатации и ремонта:

- совершенством конструкции и качеством изготовления автомобильных шин;
- своевременным и качественным выполнением технического обслуживания (ТО) и ремонта автомобильных шин;
- своевременным обеспечением и использованием нормативных запасов материалов и запасных частей высокого качества и необходимой номенклатуры;
- соблюдением требований государственных стандартов и Правил технической эксплуатации.

На строительстве Рогунской ГЭС грузовые автомобили эксплуатируются в условиях, отличающихся от указанных в п. 2.3 [104], для которого производится корректирование нормативов ресурса шин с учетом конкретных горных условий эксплуатации в карьерных дорогах:

- ресурсное (на Республиканском, отраслевом и внутриотраслевом уровнях)
- для создания автотранспортным предприятиям сопоставимых условий работы;
- оперативное (на внутриотраслевом и хозяйственном уровнях) – для обеспечения эффективного использования ресурса ШГА.

Корректирование нормативов ресурса ШГА в условиях строительства ГТС производится, в отличие от нормальных условий эксплуатации, по двум критериям: по интенсивности изнашивания рисунка и по параметру потоков отказов шин, обуславливающих снятие их с эксплуатации, путем введения соответствующих корректирующих коэффициентов, учитывающих влияние наиболее значимых факторов. Как было отмечено ранее, наиболее значимыми факторами для карьерных условий строительства Рогунской ГЭС являются дорожные условия, температура воздуха и радиальная нагрузка на шину.

Для прогнозирования и корректирования нормативов ресурса ШГА в условиях строительства ГТС можно использовать следующие методы (рис. 2.11).

Метод прогнозирования и корректирования нормы пробега шин автомобилей-самосвалов в условиях строительства ГТС на основе анализа результатов незавершенных испытаний можно применять в случае, когда известно, что закон распределения связывает значение случайной величины и соответствующую ей вероятность.



Рисунок 2.11 – Методы оперативного определения и корректирования нормативов ресурса шин

В случае корректирования нормы пробега шины известны:

– вид теоретического закона распределения пробега шины до снятия с эксплуатации  $f(L)$  (по предельному износу рисунка протектора шины и по механическим повреждениям, обуславливающим снятие шины с эксплуатации): для условий строительства Рогунской ГЭС наработки шин до предельного состояния распределяются по нормальному закону;

– значения математического ожидания, среднего квадратичного отклонения и коэффициента вариации наработки на отказ  $v$  шин автомобилей-самосвалов;

– наработки шин автомобилей-самосвалов имеют одинаковую интенсивность во времени, то есть

$$\frac{dl_1}{d\tau_1} = \frac{dl_2}{d\tau_2} \dots = \frac{dl_N}{d\tau_N}. \quad (2.45)$$

Тогда вероятность отказа шин в процессе реализации ее ресурса выражается уравнением

$$F_1 = \int_{-\infty}^{l=l_1} f(L) \cdot dl. \quad (2.46)$$

При изменении наработки  $L$  изменяется вероятность отказа  $F$  (рис. 2.12).

Чем больше  $L$ , тем выше  $F$ .

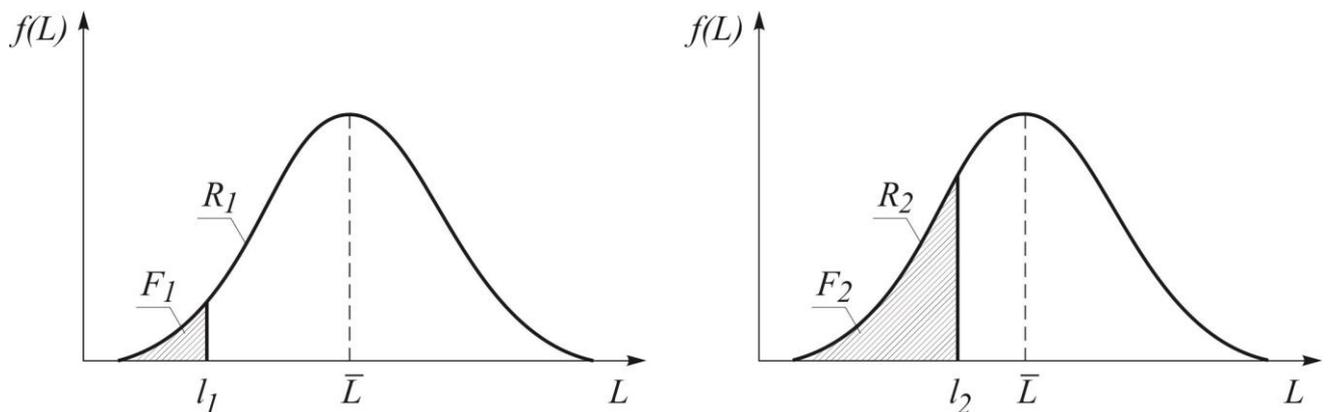


Рисунок 2.12 – Влияние наработки на вероятность формирования ресурса шин.

Если предположить, что вероятность формирования ресурса шин равна доле отказавших шин

$$\Delta_i = \frac{m_i}{N} = F_i, \quad (2.47)$$

то появляется возможность оценить среднюю наработку на отказ.

Для этого обозначим

$$\beta_{F_i} = \frac{l_i}{\bar{L}} \quad (2.48)$$

где  $\beta_{F_i}$ , – пробег шины в долях средней наработки на отказ, соответствующий вероятности отказа  $F_i$ ;  $\bar{L}$  – средняя наработка на отказ.

Произведем необходимые преобразования для перехода к относительным величинам:

$$z_i = \frac{l_i - \bar{L}}{\sigma_L}; \quad (2.49)$$

$$z_i = \frac{\bar{L}(\beta_{F_i} - 1)}{\bar{L} \cdot v} = \frac{(\beta_{F_i} - 1)}{v} \quad (2.50)$$

Здесь  $v$  – коэффициент вариации;

Из отношения (2.50) получим:

$$\beta_{F_i} = 1 - z_i \cdot v \quad (2.51)$$

Вероятность отказа шин автомобилей-самосвалов можно определить из интегральной зависимости

$$F(L = l_i) = \int_{-\infty}^{l=l_1} f(L) \cdot dl. \quad (2.52)$$

Через нормированную функцию распределения Гаусса отказ шины определяется по формуле:

$$F_i = 1 - \Phi(z_i). \quad (2.53)$$

Зная наработку на отказ, можно определить среднюю норму пробега шин, то есть

$$\bar{L} = \frac{l_i}{\beta_{F_i}}. \quad (2.54)$$

Пользуясь описанным методом при известной фактической наработке, можно определить возможное значение вероятности безотказной работы.

На практике для применения приведенного метода для оценки ресурса шин необходимо пользоваться табличными данными (табл. 2.5) или номограммой (рис. 2.13).

Таблица 2.4 – Изменение вероятного пробега шины  $\beta_{hk}$  в зависимости от доли отказавших шин  $\Delta_h$  и коэффициента вариации  $v_k$ .

Доля отказавших шин						
	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	...	$v_k$
$\Delta_1$	$\beta_{11}$	$\beta_{12}$	$\beta_{13}$	$\beta_{14}$	...	$\beta_{1k}$
$\Delta_2$	$\beta_{21}$	$\beta_{22}$	$\beta_{23}$	$\beta_{24}$	...	$\beta_{2k}$
$\Delta_3$	$\beta_{31}$	$\beta_{32}$	$\beta_{33}$	$\beta_{34}$	...	$\beta_{3k}$
$\Delta_4$	$\beta_{41}$	$\beta_{43}$	$\beta_{43}$	$\beta_{44}$	...	$\beta_{4k}$
...	...	...	...	...	...	...
$\Delta_h$	$\beta_{h1}$	$\beta_{h2}$	$\beta_{h3}$	$\beta_{h4}$	...	$\beta_{hk}$

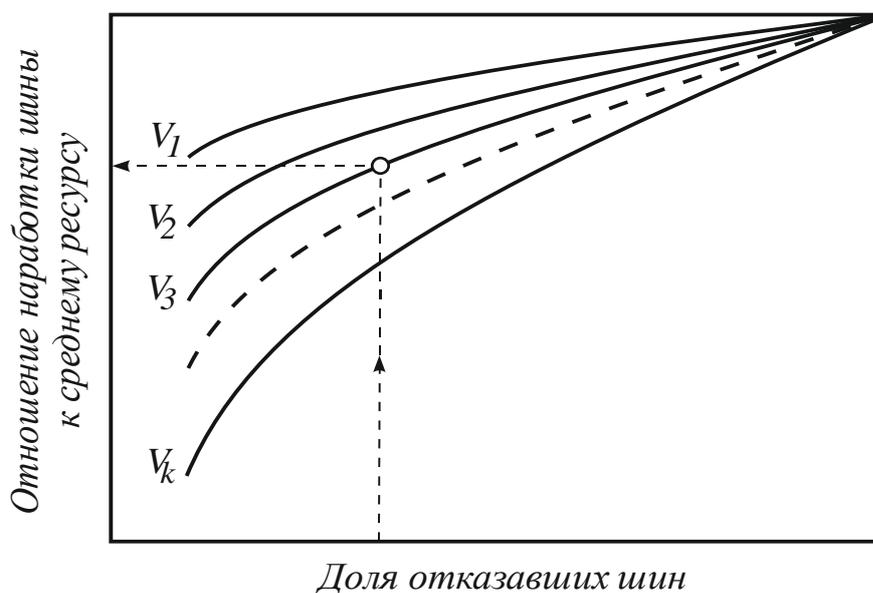


Рисунок 2.13 – Номограмма для определения соотношения наработки и среднего ресурса шин

## Выводы по главе 2

1. Установлены факторы, влияющие на формирование ресурса ШГА в горных условиях строительства ГТС, наиболее значимыми из которых для

данного условия являются дорожные условия, температура шины и радиальная нагрузка на шину. Установлено, что при корректировании нормы пробега шины необходимо учитывать особенности дорожных условий и режима работы автомобиля.

2. Произведена оценка тесноты связи между факторами, обуславливающими формирование ресурса ШГА в горных условиях строительства ГТС.

3. Разработана математическая модель влияния дорожных условий на формирование ресурса шины грузовых автомобилей в горных карьерах. Выдвинута гипотеза о применимости обобщающего динамического коэффициента дороги в целях корректирования ресурса ШГА.

4. Из-за разнообразия влияния многочисленных факторов, формирующих эффективность карьерной автомобильной дороги и сложности учета значимости каждого отдельного фактора, предложен обобщающий динамический коэффициент дороги для учёта комплексного влияния факторов.

5. Разработана эмпирическая математическая модель влияния температуры на формирование ресурса ШГА в виде интерполяционного многочлена Лагранжа.

6. Установлено, что радиальная нагрузка оказывает наибольшее влияние на формирование ресурса шин автомобилей–самосвалов БелАЗ–7540В, доля которого варьирует в пределах  $0,17 \dots 0,19$ .

7. Уточнена математическая модель комплексного влияния значимых факторов на формирование ресурса ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС с учетом обобщающего динамического коэффициента дорожных условий.

8. Для проверки выдвинутых гипотез необходимо провести экспериментальные исследования.

### **3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

#### **3.1 Цель и задачи экспериментальных исследований**

Целью экспериментальных исследований является проверка адекватности выдвинутой гипотезы и разработанной математической модели, описывающей влияния наиболее значимых факторов, определяющих ресурс ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС, а также определение числовых значений, входящих в математические модели параметров.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Оценка статистической значимости факторов, влияющих на формирование ресурса ШГА, а также определения закономерности изменения ресурса ШГА, при выполнении транспортных процессов в условиях горных карьеров строительства Рогунской ГЭС.

2. Проверка адекватности математических моделей влияния дорожных условий, температуры шины и радиальной нагрузки на ресурс шины грузовых автомобилей, обусловленный полным износом рисунка протектора, а также механическими повреждениями шины.

3. Определение числовых значений параметров и коэффициентов, входящих в предложенные математические модели, а также проверка адекватности и дискриминационный анализ математических моделей, учитывающих влияние условий эксплуатации строительства Рогунской ГЭС на формирование ресурса шин грузовых автомобилей.

Для проверки теоретических предпосылок, изложенных во второй главе, были проведены экспериментальные исследования грузовых автомобилей-самосвалов в горных условиях строительства ГЭС.

В качестве объектов экспериментальных исследований были выбраны следующие типоразмеры ШГА. \*

\* Объекты исследований были подготовлены в Технологическом парке ТТУ имени академика М.С. Осими совместно с сотрудниками основного строительства Рогунской ГЭС.

### **3.2 Анализ существующих методик экспериментального определения ресурса шин грузовых автомобилей**

Существующие методики экспериментального исследования по определению влияния эксплуатационных факторов на формирование ресурса ШГА можно разделить на две большие группы по месту проведения экспериментов: методики лабораторных и дорожных испытаний. Согласно целям и задачам исследований, связанных с корректированием нормы пробега ШГА в условиях строительства ГТС, предпочтительным является проведение дорожных исследований, которые, в свою очередь, подразделяются на ускоренные и эксплуатационные.

Наиболее достоверные данные о ресурсе шин автомобилей можно получить в процессе экспериментальных исследований в условиях реальной эксплуатации.

Целью эксплуатационных испытаний по оценке ресурса шин в дорожных условиях является определение и количественная оценка износа рисунка протектора, а также уточнение влияния эксплуатационных факторов на формирование ресурса шин подконтрольных грузовых автомобилей в карьерных условиях строительства Рогунской ГЭС. В настоящее время разработано большое число методов по измерению износа рисунка протектора автомобильных шин [87], классификация которых представлена на рисунке 3.2. Основные преимущества и недостатки существующих методов по оценке ресурса шин приведены в табл. 3.1.

Для нормирования ресурса шин в дорожных условиях считается определением наработки шин до момента снятия их с эксплуатации по причине невозможности восстановления выхода из строя. Для этого практически единственным методом сбора информации об отказах шин в реальных условиях эксплуатации является метод статистического учета и анализа. Данный метод предусматривает постоянный контроль за процессом эксплуатации шин, ежедневный учет всех факторов условий эксплуатации и их влияние на формирование ресурса шин,

фиксация невосстанавливаемых отказов и одновременный учет фактического к данному моменту пробега шин.

Лабораторные методы для определения ресурса шин сводятся к непосредственному изучению механизмов изнашивания и механического повреждения шин при имитированных воздействиях внешних факторов. Лабораторные методы испытания шин не дают достоверных результатов, позволяющих точное корректирование нормативов ресурса шин.



Рисунок 3.1 – Классификация методов измерения износа шин

Из анализа существующих методов измерения остаточной глубины рисунка протектора следует, что наиболее точным, доступным и наименее затратным методом считается метод измерения цифровым измерителем. Следовательно, при проведении экспериментальных исследований по измерению износа рисунка протектора в рамках корректирования нормативов ресурса ШГА в условиях строительства ГТС пользовались преимущественно методом измерения глубины рисунка протектора с помощью цифрового глубиномера.

Таблица 3.1 – Основные преимущества и недостатки существующих методик по оценке ресурса шин

Метод	Преимущества	Недостатки	Примечания
Весовой	Простота и высокая точность	Большая трудоемкость, связанная со снятием колеса с автомобиля, очисткой от грязи и пыли, сушкой, а также возможность получения информации только о средней величине износа	Погрешность при взвешивании составляет от 1 до 10 граммов, что в пересчете на высоту рисунка протектора составляет 0,005... 0,05 мм.
Взвешивание резиновых датчиков–свидетелей	Высокая точность на относительно малых пробегах	Большая трудоемкость и малая производительность труда при применении данного метода	Метод предусматривает установку в протекторе по ширине шины резиновых стержней, торцы которых располагают в одной плоскости с поверхностью протектора. Стержни взвешивают до и после испытаний, а об износе судят по изменению их массы. Пользуясь этим методом, можно определить интенсивность изнашивания через пробег в 10–15 км.
Взвешивание стальных индикаторов	Возможность получить результат за малый интервал пробега	Метод позволяет судить лишь о неравномерности распределения износа по поверхности протектора. Получить же численные значения интенсивности изнашивания протектора шин данный метод не позволяет	Аналогичен методу взвешивания резиновых датчиков-свидетелей с разницей в том, что в качестве индикаторов износа служат не резиновые, а стальные стержни с плоской или сферической головкой
Изготовление слепка с протектора	Высокая точность	Высокая трудоемкость и возможность применения только для шин с рисунком протектора повышенной проходимости	Предусматривает изготовление гипсового слепка перед испытанием. После испытания пространство между поверхностью протектора и слепком заполняется жидким или сыпучим веществом, затем производится весовая оценка износа

Измерение глубины рисунка протектора с помощью глубиномера	Простота и высокая производительность	Сравнительно невысокая точность	Является наиболее распространенным и позволяет определить не только средний износ, но и его распределение по поверхности протектора. Погрешность измерения при этом составляет по разным источникам от 0,2 до 0,4 мм
Измерение диаметра шины	Простота процесса измерения	Измерение производится косвенным методом. Относительно высокая погрешность измерения. Предусматривает использование дорогостоящего прибора УИД-1, предназначенного для измерения диаметров крупногабаритных деталей	Об износе судят по изменению длины окружности, а, следовательно, и диаметра шины. Погрешность измерений при использовании данного метода связана с влиянием давления воздуха в шине на ее диаметр
Измерение высоты рисунка протектора от искусственных баз	Высокая точность, недостатком	Высокая трудоемкость и низкая производительность	Измерение производят с помощью специальной установки. Точность измерения составляет от 0,02 до 0,05 мм
Метод лунок	Высокая точность	Высокая трудоемкость и низкая производительность	Метод лунок [34] предусматривает нанесение абразивным кругом на истираемую поверхность протектора сегментных канавок. Износ рассчитывается по изменению длины канавок после испытания. По данным авторов, точность данного метода составляет 0,0025 мм
Метод рисков	Высокая наглядность	Низкая точность. Используется только для шин с крупным рисунком протектора	Используется сравнительно редко [69], предусматривает нанесение на боковых гранях выступов протектора рисков на определенном расстоянии друг от друга. Об износе судят по количеству оставшихся после испытаний рисков.

Нанесение сетки	Относительно высокая точность	Более высокая трудоемкость	Износ определяется по смещению точек пересечения наклонных линий с изнашиваемой поверхностью.
Радиоактивные изотопы с введением радиоактивных изотопов при изготовлении шины	Высокая точность	Низкая эффективность. Трудности, связанные с применением радиоактивных веществ и сложностью аппаратуры. Невозможность количественной оценки износа шины	О величине износа судят по изменению активности следа или по изменению активности поверхности протектора. С помощью данного способа можно при пробеге до нескольких сотен метров выявить качественное влияние различных факторов на износ.
Радиоактивные изотопы с введением радиоактивных изотопов в процессе исследования иглой	Высокая точность	Низкая эффективность. Трудности, связанные с применением радиоактивных веществ и сложностью аппаратуры	Позволяет оценить износ рисунка протектора шины с точностью до 0,01 ... 0,02 мм
Лазерно-оптический метод с поперечным сканированием шины	Высокая точность и объективность измерений, а также автоматизация процесса получения и обработки результатов	Сложность процесса измерения и высокая стоимость оборудования	Сканирование производится после каждого поворота шины на определенный угол
Лазерно-оптический с окружным сканированием	Высокая точность и объективность измерений, а также автоматизация процесса получения и обработки результатов	Сложность процесса измерения и высокая стоимость оборудования	Сканирование производится поворачиванием шины на полный оборот относительно фиксированного луча лазера. Износ измеряется по большому числу базовых точек

### **3.3 Методика экспериментальных исследований влияния факторов на ресурс шин грузовых автомобилей в условиях строительства Рогунской ГЭС**

#### **3.3.1 Методика экспериментальных исследований по измерению износа рисунка протектора шин грузовых автомобилей**

Величина износа рисунка протектора является одним из основных факторов, определяющих нормативы ресурса автомобильных шин. Износ рисунка протектора ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС измерялся в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51709–2001 [105]. Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки [105].

В соответствии с требованиями упомянутого стандарта шины считаются непригодными к эксплуатации при условиях:

- наличия участка беговой дорожки приведенных в п. 5.5.1.1 [105] 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.

Снятие ШГА с эксплуатации из-за полного износа или определение ресурса шин осуществлялось путем измерения остаточной высоты рисунка протектора шин с помощью цифрового глубиномера с точностью измерения, равной 0,01 мм (рис.3.3).

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, расположенной посередине беговой дорожки протектора, а при неравномерном износе – на нескольких участках с разным износом, суммарная площадь которых имеет такую же величину.

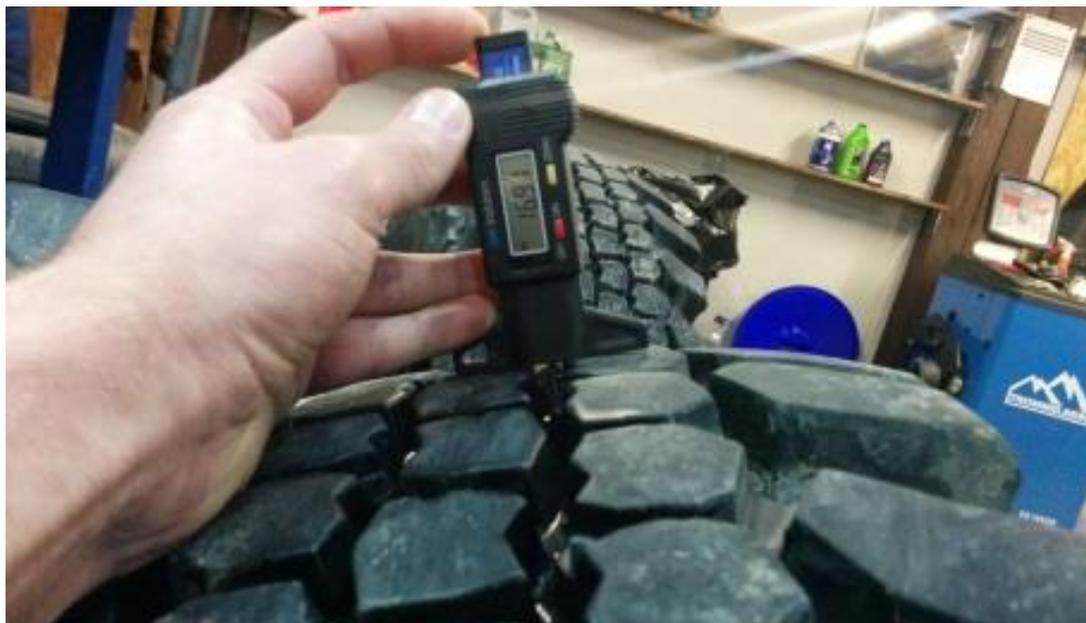


Рисунок 3.2 – Измерение остаточной высоты рисунка протектора шин с помощью цифрового глубиномера

Высоту рисунка измеряли в местах наибольшего износа протектора, но не на участках расположения полумостиков и ступенек у основания рисунка протектора.

Высоту рисунка протектора шин, имеющих сплошное ребро по центру беговой дорожки, измеряли по краям этого ребра.

Замеры высоты рисунка проводились минимум в шести точках по поверхности протектора. Полученные результаты совпадали в продольном и поперечном сечениях шин.

### **3.3.2 Методика экспериментальных исследований влияния дорожных условий на ресурс шин грузовых автомобилей**

Ресурс шины грузового автомобиля в основном зависит от условий и характера взаимодействия в месте контакта протектора шины с поверхностью дороги. В свою очередь, условия и характер взаимодействия автомобильной шины с дорогой обуславливается неровностью дороги и засоренностью поверхности дороги инородными предметами.

Измерение неровности дороги производилось рейкой ГОСТ 30412–96 [27], а также нивелиром и нивелирной рейкой ГОСТ 10528–90 [106].

Рейка – приспособление в виде жесткого прямолинейного стержня, прикладываемого к поверхности основания (покрытия) дороги (аэродрома) с целью выявления просветов между стержнем и поверхностью [27].

Согласно требованиям длина рейки должна быть равной  $3000 \pm 2$  мм, при этом ее прогиб от собственного веса не должен превышать 0,4 мм, а ширина опорной грани рейки должна быть равной  $5 \pm 2$  мм. Отклонение опорной грани рейки от плоскостности не должно превышать 0,2 мм, а отклонение боковой грани рейки от прямолинейности не должно превышать 10 мм на всей длине рейки.

На боковых гранях рейки должно быть пять меток, указывающих места измерений просветов под рейкой; шаг меток  $500 \pm 2$  мм; расстояние от крайних меток до торцов рейки  $500 \pm 2$  мм.

Клиновой промерник – приспособление в виде клина, на одной из граней которого нанесены деления для определения величины просвета под рейкой, который должен иметь две плоские грани шириной  $50 \pm 0,5$  мм, а угол между поверхностями граней должен быть в пределах  $5^\circ 45' \pm 5'$ .

В одной из граней клинового промерника имеются поперечные риски, с шагом  $10 \pm 0,1$  мм и цифровыми обозначениями от 1 до 15. Перед проведением экспериментов трехметровая рейка и клиновой промерник проходили аттестацию (поверку) в соответствии с требованиями ГОСТ 24555-81 [107].

При проведении испытаний по определению неровности дороги с помощью рейки длину участка измерений выбрали равной 325 м, исходя из условий проведения эксперимента. Измерение неровности дороги проводилось на участке дороге с чистой поверхностью без присутствия инородных предметов.

Измерение в карьерных дорогах строительства Рогунской ГЭС проводилось прикладыванием рейки к поверхности дороги на расстоянии 0,6 м от каждого края полосы движения (рис. 3.4).



Рисунок 3.3 – Измерение неровностей карьерной дороги

Согласно требованиям стандарта при каждом приложении рейки измеряли величину пяти просветов под рейкой в местах, соответствующих меткам на боковых гранях рейки.

В процессе измерений число измерений просветов под рейкой на выбранном участке равнялось 150.

Обработка данных и представление результатов измерений неровности дороги с использованием рейки производились согласно ГОСТ 30412–96 [27], а также СНиП 3.06.03–85 и СНиП 32–03–96.

Измерение неровности карьерной дороги нивелиром и нивелирной рейкой в условиях строительства Рогунской ГЭС. Измерение неровности карьерной дороги в условиях строительства Рогунской ГЭС проводилось технически исправными и проверенными нивелиром и нивелирной рейкой, отвечающими требованиям ГОСТ 10528-90 [106] Опорный торец нивелирной рейки был снабжен насадкой с полусферическим подпятником.

При проведении измерений нивелиром и нивелирной рейкой соблюдались следующие правила и приемы. Измерение проводилось на участке дороги длиной 325 м.

Нивелирные рейки располагались на одной линии на расстоянии 0,7 м от кромки основания дороги. Места установки были обозначены метками с шагом

$5\pm 0,2$  м. Измерения нивелиром и нивелирной рейкой проводились последовательно, устанавливая нивелирную рейку на каждую из меток.

Обработка результатов измерений нивелиром и нивелирной рейкой производилась согласно ГОСТ 30412–96 [27].

Перед проведением измерений поверхность горных карьерных автодорог была очищена от засорений, характерных для строительства Рогунской ГЭС: гравийных (размером 2...50 мм) и галечниковых (размером 10...200 мм) частиц различной породы и форм, а также прочих инородных предметов. Засорение поверхности дороги в условиях эксплуатации грузовых автомобилей на строительстве Рогунской ГЭС формируется из мелко дробленных вскрышных пород обломков горных пород, а также выпавших из кузова самосвала на поверхность дороги обломков скальных пород в процессе производства транспортных операций. Засоренность поверхности дороги способствует искажению результатов измерений по определению неровности дороги, обуславливающих в значительной степени формирование ресурса ШГА в горных карьерных дорогах [10].

Состав гравия, разрабатываемого и используемого в горных условиях строительства Рогунской ГЭС, составляет, в основном, зерна гранита и других пород.

Гранулированный анализ обломков скальных пород произведен методом просеивания на ситах [24, 25, 108], результат которого представлен на рисунке 1.5.

### **3.3.3 Методика экспериментальных исследований влияния температуры на ресурс шин грузовых автомобилей**

Температура является одним из значимых факторов формирования ресурса ШГА, измерение которого осуществляется различными способами (рисунок 3.5).

Выбор рационального метода измерения температуры ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС осуществлялся на основе анализа преимуществ и недостатков существующих методов (табл. 3.2.).

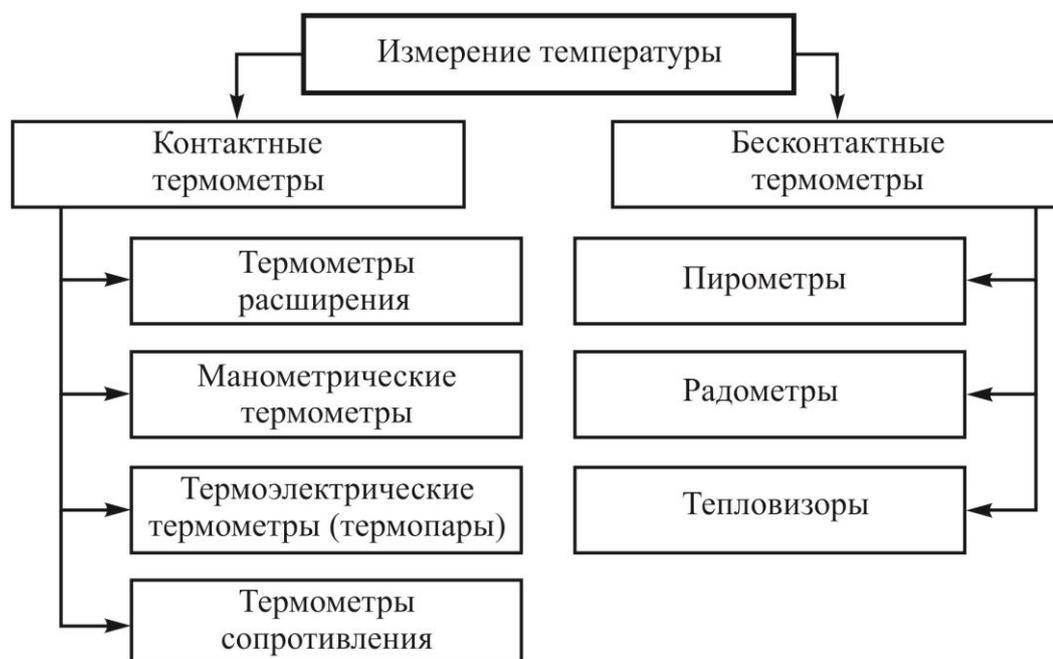


Рисунок 3.4 – Классификация методов измерения температуры автомобильной шины

Из анализа существующих методов измерения температуры ШГА следует, что наиболее точным, доступным и простым методом считается метод измерения оптическим пирометром. Следовательно, при проведении экспериментальных исследований по установлению влияния температуры на долговечность автомобильных шин в рамках корректирования нормативов ресурса ШГА, в условиях строительства ГТС пользовались, преимущественно, методом измерения температуры с помощью оптического пирометра.

Таблица 3.2 – Методика определения шины

Метод определения температуры шин	Преимущество	Недостатки	Замечание
Измерение пирометром	Простота конструкции, высокая разрешающая способность, безопасность, удобство применения и высокая точность фиксации температуры объекта	Зависимость конечного результата измерения от излучательной способности объекта измерения	Диапазон измерения температуры составляет от $-50$ до $+3000$ °С с допускаемой погрешностью в пределах от $0,1$ до $0,2$ °С (у термометра – до 2 градусов). Среднее значение несоответствия нормативам – около 2 %.
Измерение тепловизором	Для наблюдения не требуется осуществлять подсветку объекта наблюдения	Высокая стоимость и ограниченный ресурс работы. Относительно невысокая разрешающая способность	Заявленная погрешность тепловизора $\pm 2$ °С
Измерение термопарой	Высокая точность измерения температуры до $\pm 0,01$ °С. Большой температурный диапазон измерения: от $-250$ °С до $+2500$ °С. Простота, дешевизна и надежность	<p>Для получения высокой точности измерения температуры (до <math>\pm 0,01</math> °С) требуется индивидуальная градуировка термопары.</p> <p>На показания влияет температура свободных концов, на которую необходимо вносить поправку.</p> <p>Зависимость ТЭДС от температуры существенно нелинейная. Это создает трудности при разработке вторичных преобразователей сигнала.</p>	Показания температуры получают от каркаса шины, вставляя термопару в шину примерно на глубину 1 мм. Возникновение термоэлектрической неоднородности в результате резких перепадов температур, механических напряжений, коррозии и химических процессов в проводниках приводит к изменению градуировочной характеристики и погрешностям до 5 К

Измерение температуры поверхности шины пирометром осуществляется в определенном порядке, с соблюдением следующих правил и приемов:

1. Необходимо вставить элементы питания. При первом применении или при замене элементов питания устройство должно адаптироваться к условиям измерения в течение 15...20 минут. Если устройство не использовалось долгое время, рекомендуется для начала измерить температуру объекта с заранее известной температурой.

2. Постоянно контролировать уровень заряда батареи.

3. Необходимо убедиться в том, что измерениям поверхности автомобильной шины препятствуют прилипшие к её поверхности слой пыли, грязи, нефтепродуктов и прочих инородных тел.

4. Наводить прибор на поверхность автомобильной шины в районе боковины.

5. При нажатии на курок прибора значение измеряемой температуры высвечивается на дисплее, примерно через 1 сек.

6. В карьерных условиях строительства ГТС следует обращаться с особой осторожностью с ИК сенсором пирометра. ИК сенсор пирометра является самой хрупкой частью прибора, с которым необходимо обращаться с особой осторожностью при измерении температуры поверхности шины. Из-за повышенного уровня запылённости воздуха в данных условиях ИК сенсор прибора часто покрывается слоем пыли, препятствуя при этом повышению точности измерения. Очистка поверхности ИК сенсора от пыли и жирных пленок осуществляется с помощью 70% раствора спиртосодержащей жидкости, без использования абразивных средств, с целью избегать царапин поверхности сенсора.

7. Перед измерением температуры шины необходимо очистить и насухо протереть измеряемую поверхность.

8. Измерять температуру на поверхности шины 3...5 разовой повторностью, принимая за основу среднее арифметическое значение показателя.

На основе упомянутых правил и приемов температура ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС измерялась оптическим пирометром ГОСТ 28243–

96 [109]. Процесс измерения температуры ШГА с использованием пирометра DT–9862 представлен на рисунке 3.7.



Рисунок 3.5 – Процесс измерения температуры ШГА с использованием пирометра DT–9862

Для получения более полной картинки о распределении температуры на всей поверхности автомобильной шины измерение производилось оптическим тепловизором ГОСТ 28243–96 [109]. Процесс измерения температуры ШГА с использованием оптического тепловизора представлен на рисунке 3.7.



Рисунок 3.6 – Процесс измерения температуры ШГА с использованием оптического тепловизора

### 3.3.4 Методика экспериментальных исследований влияния радиальной нагрузки на ресурс шин грузовых автомобилей

При измерении радиальной нагрузки, действующей на колеса грузового автомобиля, пользовались автомобильными весами, которые предназначены для измерения массы груза, перевозимого автомобильным транспортом, путём измерения массы гружёного и порожнего транспорта.

На строительстве Рогунской ГЭС измерение массы груза, перевозимого автомобильным транспортом, производится стационарными автомобильными весами платформенного типа, предназначенного для взвешивания транспорта с полным заездом на грузоподъемное устройство ГОСТ 30414-96 [110]. Стационарные автомобильные весы платформенного типа считаются основным типом автовесов, который используется на строительстве ГЭС. Они имеют прочную грузоприемную платформу с каркасом, способным выдерживать значительные перегрузки, и отличаются высокой надежностью в работе. Основные технические характеристики автомобильных весов, применяемых в карьерах строительства Рогунской ГЭС, сведены в табл. 3. 3

Таблица 3.3 – Основные технические характеристики автомобильных весов

Характеристика	Величина
Наибольший предел взвешивания, т	100
Наименьший предел взвешивания, т	0,2
Класс точности по ГОСТ 29329–92	Средний
Цена поверочного деления, т	0,02
Дискретность отсчета (d), т	0,02
Предел допускаемой погрешности при эксплуатации, т	$\pm 0,06$
Порог чувствительности, т	0,028
Непостоянство показаний ненагруженных весов, т	$\pm 0,02$
Напряжение питания, В	187 – 242

Частота питающей сети, Гц	49 – 51
Потребляемая мощность, ВА, не более	15
Диапазон рабочих температур: для грузоприемной платформы, датчиков и линий связи, °С для весоизмерительного терминала, °С	от –30 до +40 от +5 до +40
Вероятность безотказной работы за 1000 часов	0,98
Средний срок службы, лет, не менее	10

В процессе экспериментальных исследований влияние радиальной нагрузки на формирование ресурса ШГА проводилось наряду с взвешиванием грузового автомобиля с полным заездом на грузоподъемное устройство и поосным методом взвешивания для установления распределения радиальной нагрузки на оси автомобиля в груженом и порожнем состоянии.

Взвешивание грузового автомобиля в условиях строительства Рогунской ГЭС производилось в 3...5-кратной повторности в груженом и порожнем состоянии (рис. 3.8) для двух и трехосных грузовых автомобилей, и определились средние значения показателей.



Рисунок 3.7 – Определение радиальной нагрузки на колесо грузового автомобиля взвешиванием на стационарных автомобильных весах платформенного типа

С целью определения влияния радиальной нагрузки на ресурс шины грузового автомобиля взвешивание стационарными автомобильными весами

платформенного типа осуществлялось согласно существующей инструкции в установленном порядке действий ГОСТ 30414-96 [110]:

1. Со скоростью автомобилей 5 км/с автомобиль выезжал на платформу весов.
2. Задняя ось грузового автомобиля находилась не ближе, чем 0.3 м от края платформы весов.
3. После заезда автомобиля на платформу весов двигатель был заглушен.
4. Водитель покинул кабину транспортного средства.
5. В процессе взвешивания грузовой автомобиль полностью находился на платформе для взвешивания.

Значение радиальной нагрузки считывали по показанию циферблата весов.

### **3.3.5 Методика экспериментальных исследований комплексного влияния факторов на формирование ресурса шин грузовых автомобилей**

Ресурс ШГА в сложных горных условиях эксплуатации на строительстве ГТС формируется под действием большого количества различных факторов, значения которых меняются в процессе эксплуатации в достаточно широких пределах, имея при этом вероятностную природу. Действия факторов проявляются в различных сочетаниях, усложняя установление закономерности влияния отдельных факторов на формирование ресурса ШГА. При получении достоверных результатов о ресурсе ШГА в условиях строительства ГТС необходимо испытывать достаточно большое число шин в условиях эксплуатации. В подобных случаях наиболее достоверные сведения можно получить по результатам исследований комплексного влияния факторов на формирование ресурса ШГА, принимая за основу метод определения интенсивности изнашивания шин при дорожных испытаниях согласно ГОСТ 28169–89 [111].

В соответствии с требованиями ГОСТ-ов, с целью установления корректирующих коэффициентов ресурса ШГА, дорожные испытания в условиях строительства Рогунской ГЭС проводились для определения износостойкости

шин двух и трехосных автомобилей-самосвалов в одинаковых условиях (рис. 3.10) по следующим показателям:

- интенсивность истирания рисунка протектора, выраженная в миллиметрах износа на 1000 км пробега;

- наработка шины до предельного износа рисунка протектора, определяемая расчетным путем и выраженный в километрах пробега [112].



Рисунок 3.8 – Схема опытов при дорожных испытаниях грузовых автомобилей

Измерения абсолютной высоты рисунка протектора выполнялись на шинах, установленных на подконтрольных автомобилях, отвечающих в полной мере техническим условиям [112]. Измерение высоты рисунка протектора и перестановка шин проводились через равные наработки. Несоответствие наработки шин между их перестановками соблюдалось в пределах  $\pm 5\%$ . Нарботки шин между последующими измерениями остаточной высоты рисунка протектора и их перестановками установлены согласно требованиям, приведенным в методике определения и нормы износа шин [111].

Подконтрольные автомобили-самосвалы, соответствующие техническим условиям, были выбраны с пробегом не менее 3000 км. Измерение высоты рисунка протектора производили глубиномером с ценой деления не более 0,1 мм

для измерения высоты рисунка протектора. Для контроля давления воздуха в шинах пользовались манометром класса точности 1,0.

Шины грузовых автомобилей перед монтажом на колесо взвешивали на весах АОТР. Статический дисбаланс измерили согласно ГОСТ 25692–83 [113]

Высоту рисунка протектора измеряли в соответствии с требованиями ГОСТ 28169–89 [111].

В процессе испытаний, после каждого измерения высоты рисунка протектора, необходимо определить остаточную высоту рисунка протектора по каждой шине в отдельности и среднее значение износа – для всех шин одной марки подконтрольного грузового автомобиля [111].

На основании полученных результатов расчетным путем определяют износостойкость шин за пробег, вычисляя среднее арифметическое значение износа по всем шинам одного отдельного подконтрольного автомобиля.

По завершении запланированного пробега грузовых автомобилей необходимо рассчитывать возможный пробег до условного предельного износа для шин каждого подконтрольного автомобиля с использованием методов графоаналитического прогнозирования по ГОСТ 28169–89 [111]. Предельно допустимое значение остаточного износа рисунка протектора должен не превышать высоту индикатора износа и составлять 1,0 мм для грузовых автомобилей [111].

В ходе испытаний и после их завершения, для уточнения значений корректирующих коэффициентов с целью нормирования ресурса ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС методами математической статистики, определяют относительную погрешность оценки износостойкости шин для всех марок подконтрольных грузовых автомобилей для сравнительной оценки износостойкости шин, а также погрешность сравнительной оценки износостойкости шин.

### **3.4 Оценка погрешности измерения**

Несовершенство методов и средств технических измерений и вследствие субъективных особенностей операторов-экспериментаторов, а также из-за

влияния внешних факторов результат измерения всегда отличается от истинного значения измеряемой величины. Отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины характеризует погрешность измерения. Погрешность измерения складывается из погрешности средств измерения, а также недостаточное несовершенство выбранных методов измерения.

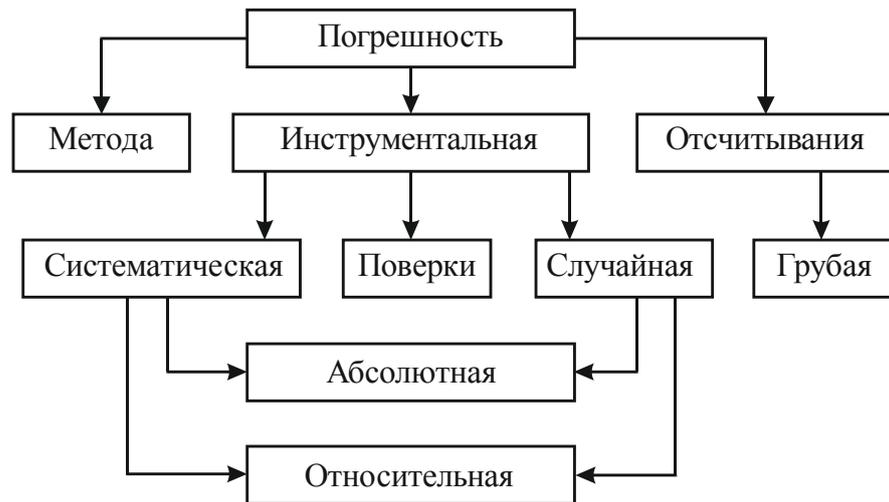


Рисунок 3.9 – Погрешности измерения и их источники

Как правило, погрешность измерения определяют в единицах измеряемой величины или в относительном виде – в процентах или в долях от интенсивного значения измеряемой величины. В соответствии с этим, погрешность измерения с точки зрения способа числового выражения может быть абсолютным и относительным [114].

Для установления абсолютной погрешности измерения  $\Delta X$  необходимо определить разности между результатом измерения  $X$  и истинной величиной измеряемого параметра  $X_u$ :

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

Относительная погрешность измерения  $\delta$  вычисляется как отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению величины, выраженной в процентах:

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

Погрешности измерения бывают систематические и случайные.

Систематическая погрешность измерения – составляющая погрешности, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины в одинаковых условиях.

Случайная погрешность – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины в одинаковых условиях.

Частота появления случайных погрешностей значимых параметров, формирующих ресурс ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС, подчиняется закону распределения Гаусса. Отсюда следует, что наибольшее приемлемым методом оценки относительной случайной погрешности является погрешность, определённая через среднюю квадратичную погрешность, которая определяется по формуле:

$$\sigma_Q = \sqrt{D_{\text{и}}^2 + D_{\text{ду}}^2 + D_{\text{т}}^2 + D_{\text{вн}}^2}, \quad (3.3)$$

где  $D_{\text{и}}$ ,  $D_{\text{ду}}$ ,  $D_{\text{т}}$ ,  $D_{\text{вн}}$  – соответственно относительные погрешности измерения износа ШГА, дорожных условий, температуры, а также радиальной нагрузки, приложенной к колесу автомобиля.

При измерении остаточной глубины рисунка протектора ШГА, в условиях эксплуатации на строительстве Рогунской ГЭС, относительная погрешность составляет  $\pm 2,4\%$ , что не выходит за допускаемый предел суммарной погрешности ресурсных показателей шины.

Среднее квадратичное значение относительной погрешности измерения неровностей дороги складывается из ошибок прибора, методов измерения, а также отсчета параметра неровности. Для карьерных дорог строительства Рогунской ГЭС оно составляет  $\pm 2,0\%$ , что тоже не входит за допускаемый предел суммарной погрешности ресурсных показателей шины.

Погрешность измерения температуры поверхности шин, состоит из погрешности прибора, погрешностей, обусловленных параметрами внешней среды (наличие тумана, пара, дыма и пыли), а также загрязнениями поверхности шины.

Среднее квадратичное значение относительной погрешности измерения температуры поверхности шины грузового автомобиля неровностей дороги складывается из ошибок прибора, методов измерения, а также отчета параметра неровности. Для карьерных дорог строительства Рогунской ГЭС оно составляет  $\pm 2,2\%$ , что находится в пределах допускаемых значений суммарной погрешности ресурсных показателей шины.

Погрешность измерения радиальной нагрузки, приложенной к колесам автомобиля, складывается из ошибки автомобильных весов, ошибки тензометрирования, а также ошибки считывания показателей циферблата автомобильных весов.

Среднее квадратичное значение относительной погрешности измерения радиальной нагрузки на шины грузовых автомобилей при перевозке горных пород в условиях карьерных дорог строительства Рогунской ГЭС составляет  $\pm 2,8\%$ , что находится в пределах допускаемых значений суммарной погрешности ресурсных показателей шины.

## **4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА РЕСУРС ШИН ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И ИХ АНАЛИЗ**

### **4.1 Анализ влияния значимых факторов на формирование ресурса шин грузовых автомобилей в условиях строительства Рогунской ГЭС**

В теоретических предпосылках при обосновании значимости факторов, влияющих на формирование ресурса ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС было сделано предположение о том, что основными значимыми факторами являются дорожные и климатические условия, а также радиальная нагрузка, приложенная к колесам автомобилей.

На основе априорных рассуждений установлено, что возможны следующие случаи:

– ресурс ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС значительно отличается от нормативного ресурса, установленного заводом-изготовителем, а интенсивность изнашивания рисунка протектора высокая. Наблюдается также частое снятие с эксплуатации ШГА в данных условиях по причине механических повреждений, не подлежащих восстановлению;

– в процессе экспериментальных исследований не принималось во внимание влияние малозначимых факторов, например, высота над уровнем моря, надежность водителя, скорость движения автомобиля (в условиях строительства Рогунской ГЭС средняя скорость движения автомобилей-самосвалов за езду небольшая и составляет примерно 11...20км/ч), вид погрузки и т.п.

На основе результатов исследований предложены математические модели, уточняющие влияние внешних факторов (дорожные условия, температура воздуха и поверхности шины, радиальная нагрузка) на интенсивность истирания и механические повреждения шины в условиях строительства Рогунской ГЭС. Установлены и уточнены числовые значения параметров математических моделей, определяющих закономерности их влияния на формирование ресурса шин в реальных условиях эксплуатации. Были исследованы различные модели

шин с целью установления корректирующих коэффициентов для нормирования их ресурса.

#### **4.2 Вероятностно–статистический анализ внешних воздействий на ресурс ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС**

На основе выдвинутых теоретических предположений о том, что колебания значимых внешних воздействий подчиняются нормальному закону распределения, результаты экспериментальных исследований обрабатывались методами математической статистики. В процессе экспериментальных исследований определялись основные вероятностно-статистические характеристики внешних воздействий, определяющих ресурс ШГА в реальных условиях эксплуатации (рис. 4.1 и 4.2). При этом по результатам экспериментальных исследований определялись основные вероятностно-статистические характеристики значимых факторов, формирующих ресурс шины. В горных карьерных условиях к значимым факторам, формирующим ресурс шины относятся дорожные условия, температура шины, относительная радиальная нагрузка, и интенсивности истирания протектора шин, установленных на грузовых автомобилях БелАЗ–7540В, SHACMAN-SX3256DR384, HOWO-336 и DongFeng-3251A (рис. 4.3).

Выбор теоретического закона распределения показателей ресурса ШГА производился в соответствии с областью применения и с учетом коэффициента вариации.

Совмещение в одном масштабе опытной и теоретической дифференциальных кривых (полигон распределения и кривая плотности вероятности) также позволяет судить по степени их совмещения или согласия. Степень согласия опытной и теоретической дифференциальных кривых производится на основе критерия согласия.

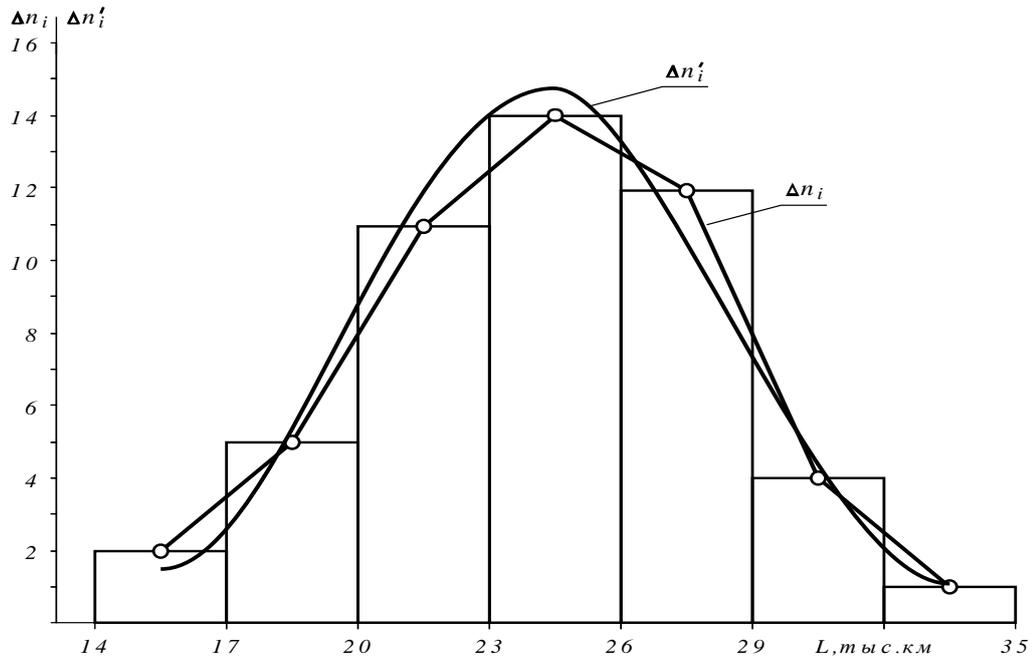


Рисунок 4.1 – Графики функций эмпирических и теоретических частот распределения ресурсов шин типоразмера 18.00 –25, монтированного на автомобиле-самосвале БелАЗ–7540В, эксплуатируемого в условиях строительства Рогунской ГЭС:  $L_{cp} = 25,14$  тыс. км;  $\sigma = 4,05$  тыс. км;  $\nu = 16\%$

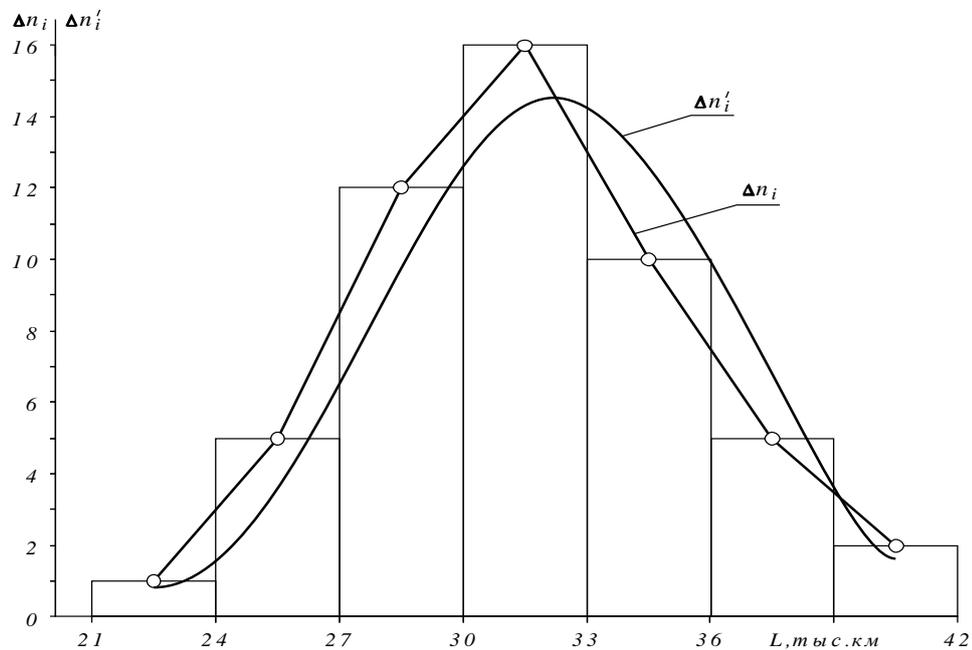


Рисунок 4.2 – Графики функций эмпирических и теоретических частот распределения ресурсов шин типоразмера 12.00 –20, монтированного на автомобилях-самосвалах SHSKMAN– SX3256DR384, HOWO–336 и Dongfeng-3251 эксплуатируемого в условиях строительства Рогунской ГЭС:  $L_{cp} = 32,2$  тыс. км;  $\sigma = 4,1$  тыс. км;  $\nu = 12,7\%$

Критерий согласия является случайной величиной и, следовательно, подчиняется определенному закону распределения. Поэтому по величине критерия согласия в каждом конкретном случае определялась вероятность совпадения опытных и теоретических функций, и на этом основании выбран теоретический нормальный закон распределения для оценки показателей ресурса шин.

В теории вероятностей известно несколько критериев согласия. Применительно к оценке показателей ресурса ШГА наиболее подходящими являются критерии согласия Пирсона  $\chi^2$  или Колмогорова.

Эмпирические характеристики распределения вышеуказанных факторов рассчитывались по методу В.И. Романовского [115].

Эмпирические распределения сопоставлялись с теоретическими по критерию согласия Пирсона  $\chi^2$  [116]. Результаты расчетов показывают, что эмпирические характеристики распределения факторов хорошо согласуются с теоретическим нормальным законом распределения. Вероятности согласия распределений внешних воздействии  $P(\chi^2)$  при этом находились в пределах 0,32...0,83.

Для указанных параметров определялись: математические ожидания, средние квадратичные отклонения, дисперсии, коэффициенты вариации, а также спектральные плотности.

#### **4.3 Спектральный анализ показателей, обуславливающих ресурс шин грузовых автомобилей**

Характер формирования и реализации ресурсов ШГА тесно связан с особенностью их корреляционных функций и спектральных плотностей. В качестве дополнительной оценки, характеризующей динамику процессов влияющих на формирование ресурсов шины (в частотной области) пользуются, спектральной плотностью внешних воздействий.

Распределение среднего значения ресурса шин типоразмеров 18.00–25 грузовых автомобилей БелАЗ–7540В, эксплуатируемых в условиях строительства

Рогунской ГЭС по месяцам года, а также результаты спектрального анализа процесса изнашивания ШГА в условиях строительства ГТС для шин типоразмеров 18.00–25, представлены в виде графика на рисунке 4.3.

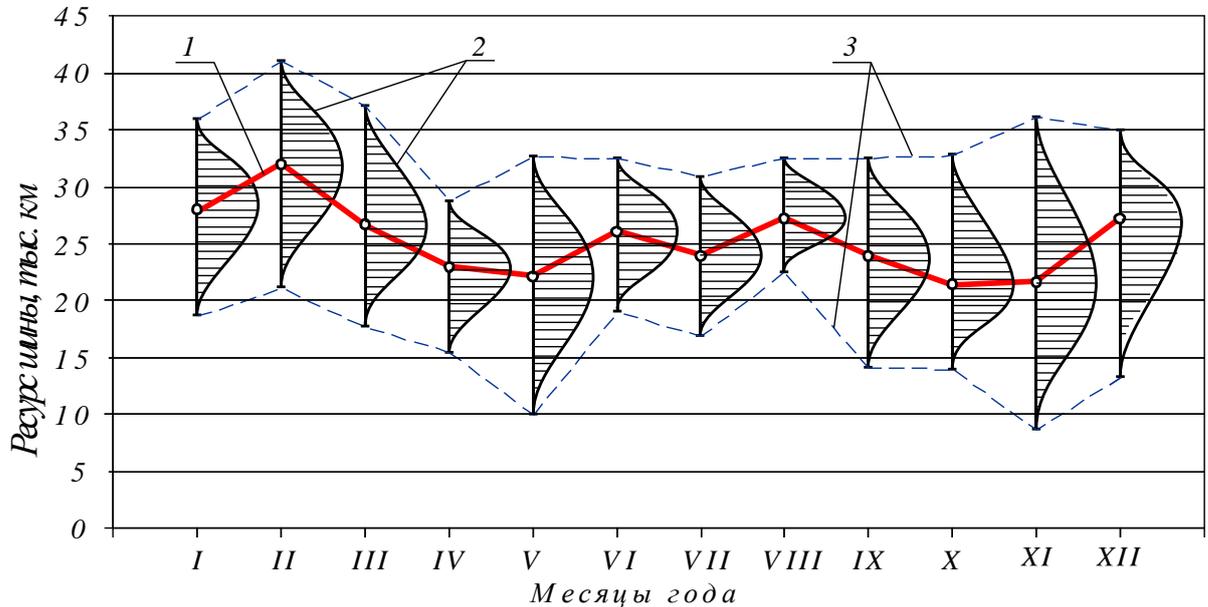


Рисунок 4.3 – Распределение среднего значения ресурса шин типоразмеров 18.00–25 грузовых автомобилей БелАЗ – 7540В, эксплуатируемых в условиях строительства Рогунской ГЭС по месяцам года: 1 – среднеемесячный ресурс шин до снятия их с эксплуатации; 2 – спектральные плотности распределения ресурса шин; 3 – границы спектров распределения ресурсов шин:  $L_{min}=8,2$  тыс. км,  $L_{max}=41,8$  тыс. км,  $L_{cp}=24,9$  тыс. км,  $\nu = 6,0...41,2\%$ .

Как видно из графика, границы спектров распределения ресурсов ШГА БелАЗ–7540В в условиях строительства ГТС изменяются в достаточно широких пределах. При этом нижнее, верхнее и среднее значения границ спектра ресурса шин соответственно составляют  $L_{min}=8,2$  тыс. км,  $L_{max}=41,8$  тыс. км,  $L_{cp}=24,9$  тыс. км. Ресурс шин по месяцам распределяются в основном по нормальному закону с коэффициентами вариаций  $\nu = 6,0...41,2\%$ .

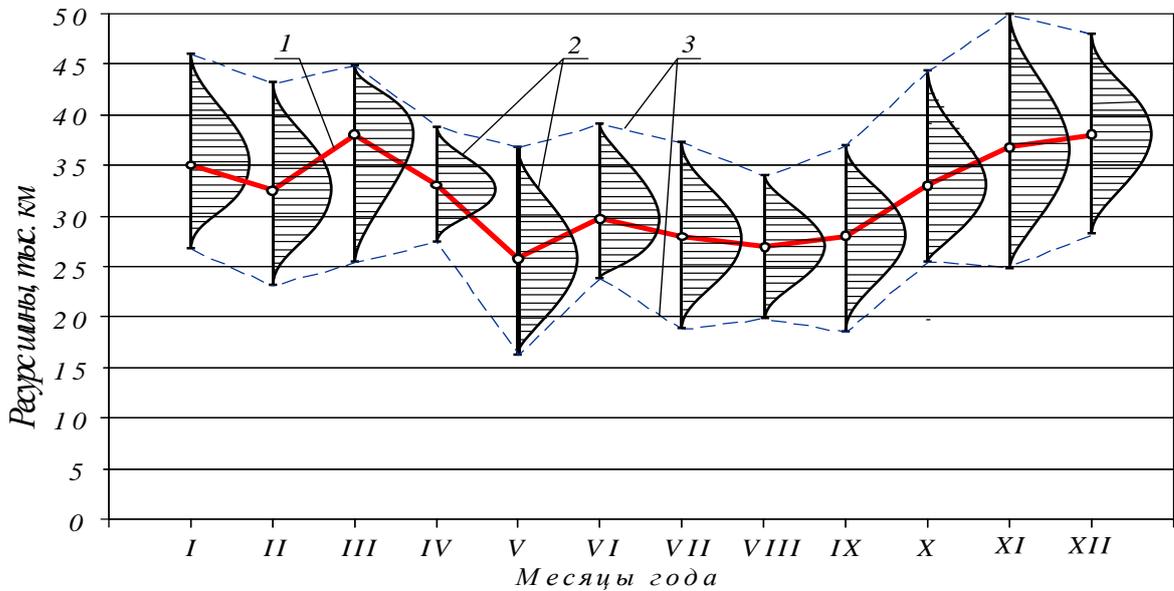


Рисунок 4. 4 – Распределение среднего значения ресурса шин типоразмеров 12.00–20 грузовых автомобилей SHACMAN–SX3256DR384, XOWO-336 и DongFeng-3251A, эксплуатируемых в условиях строительства Рогунской ГЭС по месяцам года: 1 – среднемесячный ресурс шин до снятия их с эксплуатации; 2 – спектральные плотности распределения ресурса шин; 3– границы спектров распределения ресурсов шин:  $L_{min}=16,1$  тыс. км,  $L_{max}=50,0$  тыс. км,  $L_{cp}=32,1$  тыс. км,  $v = 6,4...42,3\%$ .

Как видно из графика, границы спектров распределения ресурсов ШГА SHACMAN–SX3256DR384, XOWO-336 и DongFeng-3251A в условиях строительства ГЭС изменяются в достаточно широких пределах. При этом нижнее, верхнее и среднее значения границ спектра ресурса шин соответственно составляют  $L_{min}=16,1$  тыс. км,  $L_{max}=50,0$  тыс. км,  $L_{cp}=32,1$  тыс. км. Ресурс шин по месяцам распределяется в основном по нормальному закону с коэффициентами вариаций  $v = 6,4...42,3\%$ .

#### 4.4 Анализ совместного влияния факторов на формирование ресурса шин грузовых автомобилей.

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

значимыми факторами, формирующими ресурс ШГА при эксплуатации на строительстве Рогунской ГЭС, являются: дорожные условия, температура окружающей среды и радиальная нагрузка.

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 ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС, являются дорожные условия и радиальная нагрузка. Далее рассмотрено влияние названных параметров на интенсивность изнашивания рисунка протектора шин при условно постоянной температуре поверхности шины (рис. 4.5).

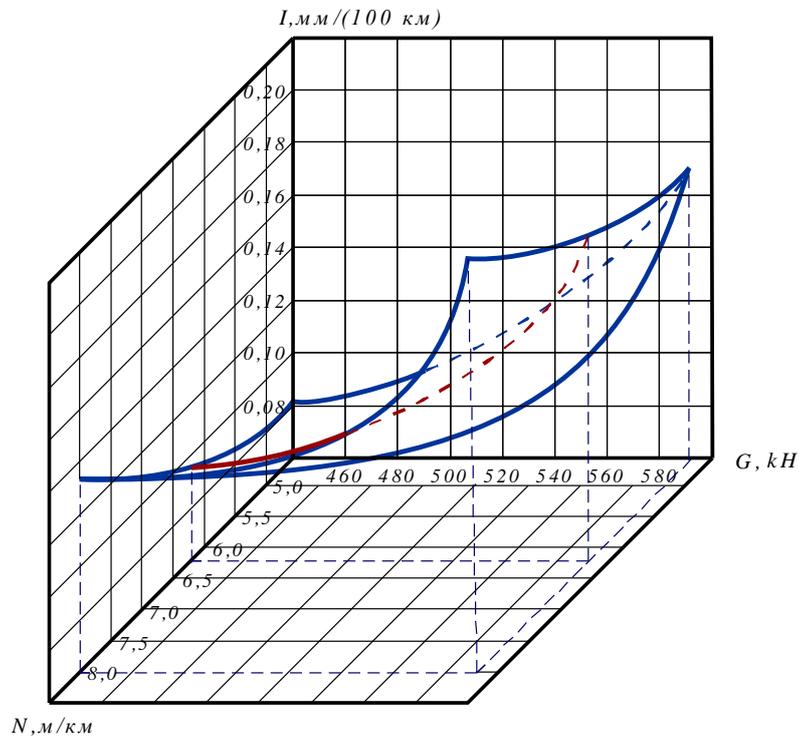


Рисунок 4.5 – Зависимость интенсивности износа рисунка протектора шины типоразмера 18.00–25 от радиальной нагрузки и неровности дороги

Из анализа приведенного графика видно, что наибольшее влияние на формирование ресурса ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС оказывают дорожные условия, которые характеризуются неровностью дорожного полотна, которая варьирует в пределах от 6.0 до 8.0 м/км и выше.

Не менее важным сочетанием факторов, определяющих интенсивность изнашивания рисунка протектора или ресурса ШГА, является совместное влияние неровности дороги и температуры поверхности шины. Следует отметить, что влияние неровности дороги на формирование ресурса шины усугубляется повышением температуры поверхности шины. Экспериментально установлено, что для условий строительства Рогунской ГЭС в летний период эксплуатации автомобилей температура поверхности шины нередко достигает  $80^{\circ}\text{C}$  и выше. При этом разница температур между поверхностью шины и окружающего воздуха находится в пределах  $45\dots 55^{\circ}\text{C}$ .

Зависимость интенсивности изнашивания рисунка протектора шин типоразмера 18.00–25 для условий эксплуатации в горных карьерах строительства Рогунской ГЭС представлена на рис. 4.6.

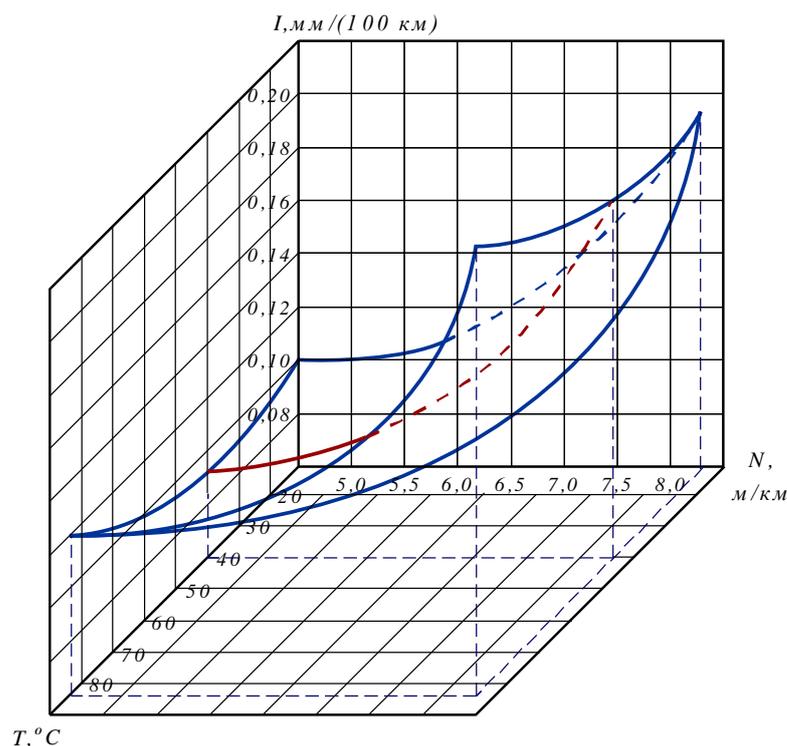


Рисунок 4.6 – Зависимость интенсивности износа рисунка протектора шины типоразмера 18.00 –25 от температуры шины и неровности дороги

Из анализа приведенного графика следует, что под совместным влиянием дорожных условий и температуры поверхности шины заметно повышается интенсивность изнашивания рисунка протектора шины. Влияние сложности

дорожных условий, определяемых в нашем случае неровностью дорожного полотна значительно растет с повышением с температуры шины из-за снижения механических свойств резины и ухудшения ее структурных показателей.

Приблизительно такой же эффект наблюдается при совместном влиянии радиальной нагрузки и температуры поверхности шины. Зависимость совместного влияния радиальной нагрузки и температуры поверхности шины при условно одинаковых дорожных условиях представлена на рис. 4.7.

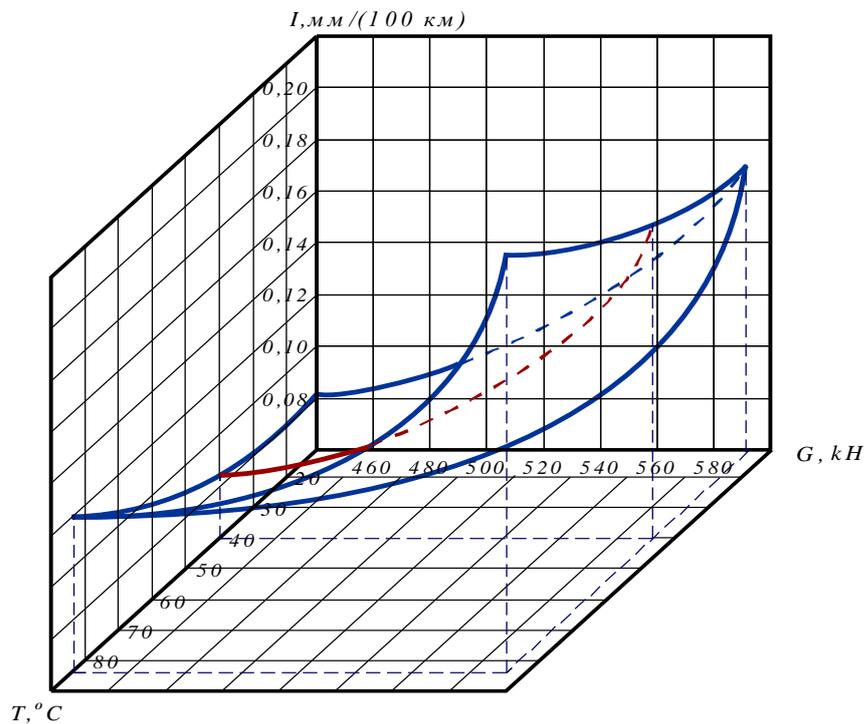


Рисунок 4.7 – Зависимость интенсивности износа рисунка протектора шины типоразмера 18.00 –25 от радиальной нагрузки и температуры шины

Экспериментальные данные по совместному влиянию названных факторов получены в условиях одного маршрута движения с максимально возможными вариациями радиальной нагрузки (полной массы автомобиля) и температуры поверхности шины. При этом температура поверхности шины, как и при прежних опытах, варьировала в пределах от 50...80°C, а полная масса автомобиля составляла 45...57 т для автомобилей-самосвалов БелАЗ–7540В.

#### **4.5 Анализ вероятностно-статистических характеристик факторов, формирующих ресурс шин грузовых автомобилей, эксплуатируемых в условиях строительства Рогунской ГЭС**

Для подтверждения предположения, выдвинутого во 2-ой главе, о том, что влияние значимых факторов имеет вероятностный характер и варьирует в достаточно широких пределах при выполнении транспортных процессов в сложных дорожно-климатических условиях Рогунской ГЭС, анализированы данные, полученные опытным путем с стороны соискателя совместно с сотрудниками Технологического парка ТГУ имени академика М.С. Осими, НИИ Транспорта и ОГМ ОАО «Основное строительство» «Рогунская ГЭС».

Вероятностно-статистические оценки характеристик параметров при эксплуатации автомобиля-самосвала БелАЗ–7540В в условиях строительства Рогунской ГЭС для различных маршрутов представлены в табл. 4.1.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что в зависимости от сложности маршрута движения и длины плеча грузоперевозок средняя скорость движения автомобиля-самосвалов БелАЗ–7540В составляет: для маршрута движения №15  $V_{cp}=10,4...11,0$  км/ч; для маршрута движения №16  $V_{cp}=11,0...11,0$  км/ч; для маршрута движения №19  $V_{cp}=11,4...12,6$  км/ч. Это свидетельствует о том, что средняя скорость движения автомобиля-самосвала за езду невысокая и в среднем составляет 11,3 км/ч. Учитывая относительно низкое среднее значение скорости движения и ее варьирование в относительно узких пределах, можно утверждать о низкой значимости данного фактора в формировании ресурса шин автомобиля БелАЗ–7240В.

Среднее значение неровности дорожного полотна составляет 7,06 м/км и варьирует в пределах от 6,6...7,5 м/км. При этом коэффициент вариации неровности дороги изменяется в пределах от 6,2...7,1%.

В условиях строительства Рогунской ГЭС в процессе проведения опытов зафиксированы значения температуры поверхности шины грузового автомобиля от 70,6...80,3<sup>0</sup>С с коэффициентом вариации, равным 0,45...51. При этом разница между температурой шины и воздуха варьировала в пределах от 35,9...44,4<sup>0</sup>С.

Таблица 4.1 – Вероятностно-статистическая оценка факторов, значимых в формировании ресурса ШГА БелАЗ–7540В, эксплуатируемых в условиях строительства Рогунской ГЭС

Марш-шрут движения	$V_a$ , км/ч	Неровность Дороги			Температура шины			Радиальная Нагрузка			Коэффициент сцепления, $k_{cy}$	Максимальный продольный угол наклона дороги $\alpha$ , град.	Разница температур воздуха и шины $t_b - t_{ш}$ , °C	Интенсивность изнашивания шины $i_{ш}$ , мм/(100 км)
		$H_d$ , м/км ( $IRI_H$ )	$\sigma_{Hd}$ , м/км	$v_{Hd}$ , %	$t_{ш}$ , °C	$\sigma_{t_{ш}}$ , °C	$v_{t_{ш}}$ , %	$m_a$ , т	$\sigma_{m_a}$ , т	$v_{m_a}$ , %				
№15	10,4	6,8	0,43	6,3	70,6	2,9	4,1	52,1	3,0	5,7	0,45	±5,8	36,4	0,13
	10,6	7,0	0,46	6,5	72,0	3,1	4,3	51,7	2,7	5,3	0,45	±5,8	38,0	0,14
	11,0	6,7	0,42	6,2	73,1	3,2	4,4	51,1	2,8	5,5	0,45	±5,8	39,1	0,16
№16	11,0	7,2	0,46	6,4	72,9	3,1	4,3	52,9	3,0	5,6	0,51	±5,5	35,9	0,15
	11,3	7,1	0,47	6,6	75,0	3,4	4,5	53,8	3,1	5,7	0,51	±5,5	38,0	0,14
	11,6	6,6	0,44	6,7	77,1	3,7	4,8	49,3	2,8	5,8	0,51	±5,5	40,1	0,16
№19	11,4	7,4	0,52	7,0	79,9	3,7	4,6	49,8	2,7	5,4	0,48	±6,0	43,9	0,13
	11,8	7,2	0,50	6,9	77,9	3,7	4,7	51,9	2,8	5,4	0,48	±6,0	43,9	0,17
	12,6	7,5	0,83	7,1	80,3	3,4	4,3	53,2	3,0	5,7	0,48	±6,0	44,4	0,15

Полная масса автомобиля установлена в пределах от 49,3...53,8 т. При этом коэффициент вариации полной массы автомобиля составляет 5,3...5,8 %.

В условиях строительства Рогунской ГЭС с приведенными значениями вероятностно-статистических показателей параметров интенсивность изнашивания рисунка протектора шины варьирует в пределах 0,13...0,17 мм/100км, что хорошо согласуется изложенными выше теоретическими предпосылками.

Вероятностно-статистические оценки характеристик параметров при эксплуатации автомобиля-самосвала SHAKMAN-S3256DR384 в условиях строительства Рогунской ГЭС для различных маршрутов представлены в табл. 4.2.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что в зависимости от сложности маршрута движения и длины плеча грузоперевозок средняя скорость движения автомобиля-самосвала БелАЗ-7540В составляет: для маршрута движения №15  $V_{cp}=15,9...16,7$  км/ч; для маршрута движения №16  $V_{cp}=16,0...16,7$  км/ч; для маршрута движения №19  $V_{cp}=15,9...16,7$  км/ч. Это свидетельствует о том, что средняя скорость движения автомобиля-самосвала за езду невысокая и в среднем составляет 16,3 км/ч. Учитывая относительно низкое среднее значение скорости движения и ее варьирование в относительно узких пределах, можно утверждать о низкой значимости данного фактора в формировании ресурса шин автомобиля SHAKMAN-S3256DR384.

Таблица 4.2 – Вероятностно-статистическая оценка факторов, значимых в формировании ресурса ШГА ШНАКМАН-S3256DR384, эксплуатируемых в условиях строительства Рогунской ГЭС

Марш-шрут движения	$V_a$ , км/ч	Неровность Дороги			Температура шины			Радиальная Нагрузка			Коэффициент сцепления, $k_{сц}$	Максимальный продольный угол наклона дороги $\alpha$ , град.	Разница температур воздуха и шины $t_{ш}$ , °C	Интенсивность изнашивания шины $i_{ш}$ , мм/(100 км)
		$H_d$ , м/км ( $IRI_H$ )	$\sigma_{Hd}$ , м/км	$\nu_{Hd}$ , %	$t_{ш}$ , °C	$\sigma_{t_{ш}}$ , °C	$\nu_{t_{ш}}$ , %	$G_a$ , т	$\sigma_{G_a}$ , т	$\nu_{G_a}$ , %				
№15	16,0	6,8	0,43	6,3	76,8	3,4	4,4	44,8	2,8	6,2	0,45	±5,8	41,8	0,08
	16,7	7,0	0,46	6,5	77,3	3,2	4,2	46,0	2,9	6,4	0,45	±5,8	42,0	0,08
	16,2	6,7	0,42	6,2	79,2	3,7	4,7	45,3	2,8	6,1	0,45	±5,8	44,3	0,07
№16	16,6	7,2	0,46	6,4	78,8	3,6	4,6	47,2	2,8	6,0	0,51	±5,5	43,7	0,06
	16,1	7,1	0,47	6,6	80,5	3,9	4,9	43,8	2,7	6,1	0,51	±5,5	45,1	0,06
	16,4	6,6	0,44	6,7	83,0	4,2	5,1	44,9	2,8	6,3	0,51	±5,5	47,9	0,08
№19	16,7	7,4	0,52	7,0	84,6	4,1	4,9	44,4	2,6	5,9	0,48	±6,0	49,1	0,08
	16,3	7,2	0,50	6,9	83,2	4,2	5,0	45,1	2,8	6,2	0,48	±6,0	47,9	0,07
	15,9	7,5	0,83	7,1	86,4	4,0	4,8	45,7	3,0	6,5	0,48	±6,0	51,2	0,06

Автомобили SHAKMAN-S3256DR384 исследовались в тех же маршрутах, что и автомобиль БелАЗ–7540В. Следовательно, дорожные условия такие же, как и в предыдущем случае.

В условиях строительства Рогунской ГЭС в процессе проведения опытов зафиксированы значения температуры поверхности шины грузового автомобиля от  $76,8...86,4^{\circ}\text{C}$  с коэффициентом вариации, равным  $0,45...51$ . При этом разница между температурой шины и воздуха варьировала в пределах от  $41,8...51,2^{\circ}\text{C}$ .

Полная масса автомобиля установлена в пределах от  $43,8...47,2$  т. При этом коэффициент вариации полной массы автомобиля составляет  $5,9... 6,5\%$ .

В условиях строительства Рогунской ГЭС с приведенными значениями вероятностно-статистических показателей параметров интенсивность изнашивания рисунка протектора шины варьирует в пределах  $0,06...0,08$  мм/100км, что хорошо согласуется с изложенными выше теоретическими предпосылками.

Вероятностно-статистические оценки характеристик параметров при эксплуатации автомобиля-самосвала ХОВО-336 в условиях строительства Рогунской ГЭС для различных маршрутов представлены в табл. 4.3.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что в зависимости от сложности маршрута движения и длины плеча грузоперевозок средняя скорость движения автомобиля-самосвала ХОВО-336 составляет: для маршрута движения №15  $V_{\text{cp}}=16,4...17,3$  км/ч; для маршрута движения №16  $V_{\text{cp}}=16,2...17,3$  км/ч; для маршрута движения №19  $V_{\text{cp}}=16,9...17,2$  км/ч. Это свидетельствует о том, что средняя скорость движения автомобиля-самосвала за езду невысокая и в среднем составляет  $16,9$  км/ч.

Таблица 4.3 – Вероятностно-статистическая оценка факторов, значимых в формировании ресурса ШГА ХОВО-336, эксплуатируемых в условиях строительства Рогунской ГЭС

Марш-шрут движения	$V_a$ , км/ч	Неровность Дороги			Температура шины			Радиальная Нагрузка			Коэффициент сцепления, $k_{сц}$	Максимальный продольный угол наклона дороги $\alpha$ , град.	Разница температур воздуха и шины $t_b - t_{ш}$ , °C	Интенсивность изнашивания шины $i_{ш}$ , мм/(100 км)
		$H_d$ , м/км ( $IRI_H$ )	$\sigma_{Hd}$ , м/км	$v_{Hd}$ , %	$t_{ш}$ , °C	$\sigma_{t_{ш}}$ , °C	$v_{t_{ш}}$ , %	$G_a$ , т	$\sigma_{G_a}$ , т	$v_{G_a}$ , %				
№15	16,4	6,8	0,43	6,3	77,9	3,3	4,3	32,1	2,8	6,4	0,45	±5,8	42,7	0,07
	16,7	7,0	0,46	6,5	79,1	3,8	4,8	33,2	2,9	6,7	0,45	±5,8	43,1	0,08
	17,3	6,7	0,42	6,2	79,4	3,6	4,5	34,1	2,8	6,3	0,45	±5,8	44,6	0,08
№16	16,2	7,2	0,46	6,4	75,8	3,6	4,8	32,3	2,8	6,6	0,51	±5,5	41,2	0,07
	17,3	7,1	0,47	6,6	80,8	4,3	5,3	33,5	2,7	6,5	0,51	±5,5	45,3	0,06
	17,1	6,6	0,44	6,7	76,5	3,7	4,9	34,1	2,8	6,9	0,51	±5,5	42,8	0,06
№19	17,2	7,4	0,52	7,0	78,3	3,8	4,8	34,3	2,6	6,3	0,48	±6,0	43,5	0,06
	16,9	7,2	0,50	6,9	79,8	4,1	5,1	34,5	2,8	6,8	0,48	±6,0	44,3	0,07
	17,0	7,5	0,83	7,1	73,4	3,6	4,9	33,4	3,0	7,2	0,48	±6,0	38,4	0,07

Учитывая относительно низкое среднее значение скорости движения и ее варьирование в относительно узких пределах, можно утверждать о низкой значимости данного фактора в формировании ресурса шин автомобиля ХОВО–336.

Автомобили ХОВО–336 исследовались в тех же маршрутах, что и автомобиль БелАЗ–7540В. Следовательно, дорожные условия такие же, как и в предыдущем случае.

В условиях строительства Рогунской ГЭС в процессе проведения опытов зафиксированы значения температуры поверхности шины грузового автомобиля от  $73,4 \dots 80,8^{\circ}\text{C}$  с коэффициентом вариации, равным  $0,43 \dots 0,53$ . При этом разница между температурой шины и воздуха варьировала в пределах от  $38,4 \dots 45,3^{\circ}\text{C}$ .

Полная масса автомобиля установлена в пределах от  $32,1 \dots 34,5$  т. При этом коэффициент вариации полной массы автомобиля составляет  $6,3 \dots 7,2$  %.

В условиях строительства Рогунской ГЭС с приведенными значениями вероятностно-статистических показателей параметров интенсивность изнашивания рисунка протектора шины варьирует в пределах  $0,06 \dots 0,08$  мм/100км, что хорошо согласуется с изложенными выше теоретическими предпосылками.

Вероятностно-статистические оценки характеристик параметров при эксплуатации автомобиля-самосвала DongFeng–3251 в условиях строительства Рогунской ГЭС для различных маршрутов представлены в табл. 4.4.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что в зависимости от сложности маршрута движения и длины плеча грузоперевозок средняя скорость движения автомобиля-самосвала DongFeng–3251 составляет: для маршрута движения №15  $V_{\text{cp}}=16,9 \dots 17,5$  км/ч; для маршрута движения №16  $V_{\text{cp}}=16,8 \dots 17,7$  км/ч; для маршрута движения №19  $V_{\text{cp}}=17,1 \dots 17,3$  км/ч. Это свидетельствует о том, что средняя скорость движения автомобиля–самосвала за езду невысокая и в среднем составляет  $17,1$  км/ч.

Таблица 4.4 – Вероятностно-статистическая оценка факторов, значимых в формировании ресурса ШГА DongFeng –3251, эксплуатируемых в условиях строительства Рогунской ГЭС

Марш-шрут движения	$V_a$ , км/ч	Неровность Дороги			Температура шины			Радиальная Нагрузка			Коэффициент сцепления, $k_{cy}$	Максимальный продольный угол наклона дороги $\alpha$ , град.	Разница температур воздуха и шины $t_b - t_{ш}$ , °C	Интенсивность изнашивания шины $i_{ш}$ , мм/(100 км)
		$H_d$ , м/км ( $IRI_H$ )	$\sigma_{Hd}$ , м/км	$\nu_{Hd}$ , %	$t_{ш}$ , °C	$\sigma_{t_{ш}}$ , °C	$\nu_{t_{ш}}$ , %	$G_a$ , Т	$\sigma_{G_a}$ , Т	$\nu_{G_a}$ , %				
№15	17,5	6,8	0,43	6,3	78,5	3,5	4,5	31,5	2,1	6,8	0,45	±5,8	43,5	0,06
	16,9	7,0	0,46	6,5	78,7	3,8	4,9	32,0	2,2	6,9	0,45	±5,8	43,6	0,07
	17,2	6,7	0,42	6,2	80,0	4,0	5,0	30,8	2,1	6,7	0,45	±5,8	45,0	0,07
№16	17,7	7,2	0,46	6,4	76,2	3,9	5,1	31,4	2,2	6,9	0,51	±5,5	41,4	0,08
	16,8	7,1	0,47	6,6	78,8	3,9	5,0	31,8	2,3	7,2	0,51	±5,5	42,9	0,06
	17,0	6,6	0,44	6,7	77,6	4,0	5,2	31,9	2,1	6,8	0,51	±5,5	42,6	0,08
№19	17,1	7,4	0,52	7,0	76,9	4,1	5,3	31,5	2,2	7,1	0,48	±6,0	41,8	0,06
	17,3	7,2	0,50	6,9	75,7	3,8	5,0	31,7	2,3	7,3	0,48	±6,0	40,9	0,07
	17,3	7,5	0,83	7,1	80,1	3,8	4,8	31,1	2,1	6,9	0,48	±6,0	44,8	0,08

Учитывая относительно низкое среднее значение скорости движения и ее варьирование в относительно узких пределах, можно утверждать о низкой значимости данного фактора в формировании ресурса шин автомобиля DongFeng –3251

Автомобили DongFeng –3251 исследовались в тех же маршрутах, что и автомобиль БелАЗ–7540В. Следовательно, дорожные условия такие же, как и в предыдущем случае.

В условиях строительства Рогунской ГЭС в процессе проведения опытов зафиксированы значения температуры поверхности шины грузового автомобиля от 76,2...80,1<sup>0</sup>С с коэффициентом вариации, равным 0,62...0,71. При этом разница между температурой шины и воздуха варьировала в пределах от 40,9...45,0<sup>0</sup>С.

Полная масса автомобиля установлена в пределах от 30,8...32,0 т. При этом коэффициент вариации полной массы автомобиля составляет 6,8...7,3 %.

В условиях строительства Рогунской ГЭС с приведенными значениями вероятностно-статистических показателей параметров интенсивность изнашивания рисунка протектора шины варьирует в пределах 0,06...0,08 мм/100км, что хорошо согласуется с изложенными выше теоретическими предпосылками.

#### **4.6 Сравнение теоретических и экспериментальных значений коэффициентов корректирования нормативов ресурса шин грузовых автомобилей**

Основными задачами корректирования ресурса шин автомобилей, в частности грузовых автомобилей, в условиях строительства ГЭС являются:

– количественная оценка, обоснование и уточнение влияние факторов, объективно действующих идентифицированных, на нормативы ресурса шин в реальных условиях эксплуатации;

– обоснование фактической потребности в энергетических, людских и материальных ресурсах с учетом особенностей условий эксплуатации;

– необходимость обеспечения соотношения трудоемкостей и затрат АТП на автомобильные шины, эксплуатируемые в разных условиях;

В качестве метода корректирования ресурса ШГА, эксплуатируемых в условиях строительства Рогунской ГЭС, принят общеизвестный метод, основанный на изменении реальных нормативов относительно эталонных введением соответствующих коэффициентов корректирования для данных условий.

Результирующая норма пробега ШГА до снятия с эксплуатации в условиях строительства Рогунской ГЭС определяется по формуле (2.4), изложенной во второй главе

$$L_p = L_{\text{э}} \cdot (1 - k_d) \cdot k_t \cdot k_G \cdot k_{\text{пр}} = L_{\text{э}} \cdot k_p, \quad (4.1)$$

где  $k_p$  – результирующий коэффициент корректирования, который для ресурса ШГА ограничивается условием  $k_p \geq 0,5$ ;  $L_{\text{э}}$  – норматив ресурса шин для эталонных условий.

К эталонным условиям для горных карьеров строительства ГТС можно отнести:

- дорогу - карьерную с гравийным покрытием с ровностью до 6,2 м/км по IRI [117];
- рельеф – равнинный, слабохолмистый и холмистый;
- модель автомобиля – базовая;
- климат – умеренный;
- среда – умеренно агрессивная;
- условия движения – в карьерах строительства ГТС;
- наработка с начала эксплуатации автомобиля (с смонтированными шинами для нормирования их ресурса) 50–75% от нормативного ресурса до КР.

При обосновании корректирования нормы пробега ШГА, эксплуатируемых в горных карьерах, учитывались перспективы строительства подобных ГТС в Республике Таджикистан.

С учетом того, что в Республике Таджикистан подобные ГТС будут строиться в течение ближайших 50 и более лет, то при обосновании корректирующих коэффициентов в расчете на уточнение ресурса шин

использование более эффективных технологий и организации ТО и ремонта предусматриваются более жесткие требования:

- расчетная периодичность ТО перспективных шин будет увеличиваться предположительно на 20–30%;
- расчетные ресурсы до ремонта шин будут увеличиваться;
- трудоемкости и простои автомобиля из-за ТО и ТР шин будут сокращаться в 1,5–2,0 раза;
- будут улучшаться дорожные условия в карьерах на строительстве ГТС;
- будет снижаться влияние прочих факторов на формирование ресурса ШГА, эксплуатируемых в условиях строительства ГТС.

Обоснование числовых значений корректирующих коэффициентов для нормирования ресурса ШГА, эксплуатируемых в условиях строительства ГТС, производилось на основе обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований в следующем порядке:

- на основе анализа факторов, влияющих на формирование ресурса шин, обоснованы наиболее значимые из них. Для ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС таковыми являются дорожные условия, нагрузочный режим или радиальная нагрузка, приложенная на колесо автомобиля, температура шины и прочие факторы;

- в качестве фактора, учитывающего сложность дорожных условий, был принят коэффициент  $k_d$ , приведенный в ряде трудов, в частности в изложенной работе [10]. По результатам теоретических и экспериментальных исследований установлена эффективность применения динамического коэффициента  $k_d$  при уточнении ресурса ШГА для условий строительства ГТС ( $k_d = 0,87...0,88$ );

- значения корректирующего коэффициента, учитывающего влияние температуры шины  $k_t$ , установлены экспериментально в процессе измерений интенсивности изнашивания рисунка протектора в различные времена года при постоянстве других факторов;

- значения корректирующего коэффициента, учитывающего влияние радиальной нагрузки  $k_G$ , установлены экспериментально, в процессе измерений

интенсивности изнашивания рисунка протектора, для прочих равных условий при перевозке горной массы с различной плотностью;

– влияние прочих факторов установлено на основе доли шин, снятых с эксплуатации в результате механических повреждений.

Значения корректирующих коэффициентов для нормирования ресурса ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС представлены в табл. 4.5 [93].

Таблица 4.5– Числовые значения корректирующих коэффициентов

Марка автомобиля	Корректирующий коэффициент				
	$k_d$	$k_t$	$k_G$	$k_{np}$	$k_p$
БелАЗ–7540В	0,87...0,88	0,86...0,88	0,81...0,83	0,87...0,91	0,53...0,66
SHACMAN–SX3256DR384	0,87...0,88	0,92...0,94	0,91...0,93	0,84...0,86	0,61...0,66
DongFeng-3251	0,87...0,88	0,90...0,94	0,89...0,93	0,85...0,89	0,59...0,68
XOWO-336	0,87...0,88	0,91...0,93	0,88...0,92	0,81...0,85	0,56...0,64

Сравнительные расчетные и опытные данные корректирования нормативов ресурсов ШГА БелАЗ–7540В (шины типоразмера 18.00 –25), а также SHACMAN-S3256 DR384, XOWO-336 и DongFeng–3251 (шины типоразмера 12.00–20) в условиях строительства Рогунской ГЭС представлены в табл. 4. 6.

На основе обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований установлена адекватность предложенной математической модели для расчета скорректированных нормативов ресурсов ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС с помощью коэффициентов корректирования для данных условий относительно эталонных.

Из анализа данных, сведенных в табл. 4.6, видно, что относительное расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями ресурса шин в условиях строительства Рогунской ГЭС не превышает 2,8%.

Максимальное значение относительно расхождений теоретических и экспериментальных значений ресурса шин типоразмера 18.00–25 не превышает 2,8%. При этом среднее значение относительных расхождений составляет 2,4%.

Таблица 4.6 – Сравнительная оценка расчетных и опытных результатов ресурса ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС

Автомобиль	Типо-размер шины	Нормативный ресурс шины, тыс. км	Интенсивность изнашивания рисунка протектора шины, мм/(100 км)	Соотношение причин снятия шин с эксплуатации, %		Ресурс шины в реальных условиях, тыс. км		Относительная погрешность $\delta$ , %
				полный износ рисунка протектора	механические повреждения	расчетный	опытный	
БелАЗ-7540В	18.00-25	45,0	0,15	85,8	14,2	25,1	25,8	2,8
				88,2	11,8		25,8	2,8
				89,0	11,0		24,7	1,6
Среднее значение показателя			<b>0,15</b>	<b>87,7</b>	<b>12,3</b>	<b>25,1</b>	<b>25,4</b>	<b>2,4</b>
SHACMAN-SX3256DR384	12.00-20	50	0,08	87,2	12,8	32,0	32,9	2,8
				87,8	12,2		32,4	1,2
				88,1	12,9		31,7	2,2
Среднее значение показателя			<b>0,08</b>	<b>87,7</b>	<b>12,6</b>	<b>32,0</b>	<b>32,3</b>	<b>2,1</b>
XOWO-336	12.00-20	50	0,08	86,4	13,6	31,9	32,6	2,2
				88,9	11,1		32,3	1,2
				88,6	11,4		31,4	1,6
Среднее значение показателя			<b>0,08</b>	<b>88,0</b>	<b>12,0</b>	<b>31,9</b>	<b>32,1</b>	<b>1,7</b>
DongFeng-3251A	12.00-20	50	0,08	86,7	13,1	32,1	31,8	2,2
				88,0	12,0		31,5	1,9
				88,8	11,2		33,0	2,7
Среднее значение показателя			<b>0,08</b>	<b>87,9</b>	<b>12,1</b>	<b>32,1</b>	<b>32,1</b>	<b>2,3</b>

Относительное расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями ресурса шин типоразмера 12.00–20, устанавливаемых на грузовых автомобилях SHAKMAN S 3256 DR 384, XOWO 336 и DongFeng DFL –3251 не превышает 2,8%. При этом средние значения относительных расхождений составляют соответственно 2,1, 1,7 и 2,3%.

Средние значения относительных погрешностей между результатами теоретических и экспериментальных исследований не превышают 2,4%, что свидетельствует о необходимой [118] достоверности полученных теоретических предпосылок о корректировании нормативов ресурса ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС.

#### **4.7 Расчет экономического эффекта от использования результатов исследований**

На основе анализа результатов многолетних исследований по нормированию пробега шин грузовых автомобилей, проведенных сотрудниками кафедры и технологического парка при ТГУ им. акад. М.С. Осими совместно с инженерно – техническими работниками основного строительства «ООО Рогунский ГЭС», разработаны рекомендации по оценке и повышению их долговечности:

1. Снижение степени варьирования полной массы автомобиля–самосвала, занятого перевозкой горной породы. По результатам исследований установлено, что около 70% автомобилей самосвалов в условиях горных карьеров при строительстве Рогунской ГЭС эксплуатируются с полной массой, превышающей ее номинальное значение. При этом масса перевозимого груза автомобилем – самосвалом БелАЗ – 7540В варьирует в пределах от 23 до 35т, номинальная грузоподъемность которого составляет 30т. Массы перевозимых грузов автомобилями–самосвалами за смену распределяются по нормальному закону со следующими параметрами: средним значением полной массы автомобиля–самосвала  $m_{ср} = 52,8т$ ; средним квадратичным отклонением  $\sigma = 2 т$ ; коэффициентом вариации  $v = 16,7\%$ . Следует отметить, что при незначительном снижении линейного расхода топлива в случае недогруза, значительно

увеличивается при перегрузе и доходить до 20%. При этом с повышением полной массы автомобиля интенсивность отказов шин грузовых автомобилей составляет 16- 24% в горных карьерных условиях при строительстве Рогунской ГЭС.

2. Повышение значения обобщенного динамического коэффициента, 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 при строительстве ГТС.

3. Постоянный контроль технического состояния пневматической шины. Избегать чрезмерного повышения температуры поверхности шины и отклонения давления воздуха в шине от установленной нормы. Чрезмерное повышение температуры шины обусловлены высокими значениями скорости движения и температуры окружающего воздуха. Температуры шины заметно увеличивается при движении автомобиля с перегрузом на дорогах с низким значением обобщенного динамического коэффициента с частыми маневрами. Кроме этого, на рост температуры пневматической шины в горных карьерных условиях влияют буксование колеса автомобиля и сложная геометрия дороги в плане и профиле. В отдельных случаях температура шины грузового автомобиля достигает достигать 80оС и более, что приводит к увеличению относительной интенсивности протекторной резины до 200%. Названные условия наряду с повышением износа шины способствуют к снижениям производительности грузоперевозок (на 10-15%) и надежности автомобиля (коэффициента готовности автомобиля на 8-10%), а также повышению линейного расхода топлива до 40%.

Экономический эффект от снижения влияния различных факторов образуется за счет внедрения предложенных рекомендаций, в результате которого уменьшаются потери ресурса шин, повышаются надежность автомобиля и производительность грузоперевозок, а также снижается линейный расхода топлива.

На практике определить фактический экономический эффект от внедрения предложенных рекомендаций можно только после длительного их использования в конкретных эксплуатационных условиях. В рамках не всякой исследовательской

работы это представляется возможным. Следовательно, для определения расчетного эффекта принимаем условно, что при внедрении разработанных рекомендаций существенно повышается экономический эффект от эксплуатации пневматических шин в горных карьерных условиях.

Экономический эффект от внедрения разработанных рекомендаций можно определить из выражения

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{ш}} + \mathcal{E}_{\text{т}}, \quad (4.2)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ш}}$  – эффект от снижения потерь ресурса шин;  $\mathcal{E}_{\text{т}}$  – эффект от снижения расхода топлива;  $\mathcal{E}_{\text{н}}$  – эффект от повышения надежности автомобиля;  $\mathcal{E}_{\text{п}}$  – эффект от повышения производительности грузоперевозок.

Эффект от снижения потерь ресурса шин определяется из разности

$$\mathcal{E}_{\text{ш}} = N_{\text{д}} + N_{\text{п}}, \quad (4.3)$$

где  $N_{\text{д}}$  и  $N_{\text{п}}$  – расход шин грузовых автомобилей, эксплуатируемых в условиях горных карьеров, до и после внедрения разработанных рекомендаций, шт.

Расход шин до внедрения разработанных рекомендаций за расчетный период определяется отношением

$$N_{\text{д}} = L_{\text{общ}} / L_{\text{фд}}, \quad (4.4)$$

где  $L_{\text{общ}}$  – общий пробег всех шин за расчетный период, тыс. км;  $L_{\text{фд}}$  – средний фактический пробег шины до внедрения рекомендаций, тыс. км.

Общий пробег всех шин за расчетный период определяется из выражения

$$L_{\text{общ}} = L_{\text{р}} \cdot n_{\text{к}} \cdot A_{\text{с}}, \quad (4.5)$$

где  $L_{\text{р}}$  – средний пробег одного автомобиля за расчетный период, тыс. км;  $n_{\text{к}}$  – количество ходовых колес на одном автомобиле;  $A_{\text{с}}$  – среднесписочное число автомобилей.

С учетом формулы (8) формулу для определения расхода шин до внедрения разработанных рекомендаций за расчетный период можно переписывать в виде

$$N_{\text{д}} = L_{\text{р}} \cdot n_{\text{к}} \cdot A_{\text{с}} / L_{\text{фд}}. \quad (4.6)$$

Средний фактический пробег шин до внедрения рекомендаций  $L_{\text{фд}}$  увеличивается на величину  $\Delta L$  после их внедрения  $L_{\text{фд}}$ , т.е.

$$L_{\text{фп}} = L_{\text{фд}} + \Delta L. \quad (4.7)$$

или

$$\Delta L = L_{\text{фп}} - L_{\text{фд}}. \quad (4.8)$$

С учетом выражений (4.6) и (4.7) формулу расхода шин после внедрения рекомендаций за расчетный период можно выразить в виде

$$N_{\text{п}} = L_p \cdot n_k \cdot A_c / L_{\text{фп}} = L_p \cdot n_k \cdot A_c / L_{\text{фд}} + \Delta L \quad (4.9)$$

Подставляя значения  $N_{\text{д}}$  и  $N_{\text{п}}$  из выражений (4.5) и (4.8) в формулу (4.0), получим

$$\mathcal{E}_{\text{ш}} = \frac{L_p \cdot n_k \cdot A_c}{L_{\text{фд}}} - \frac{L_p \cdot n_k \cdot A_c}{L_{\text{фд}} + \Delta L} = L_p \cdot n_k \cdot A_c \left( \frac{1}{L_{\text{фд}}} - \frac{1}{L_{\text{фд}} + \Delta L} \right). \quad (4.9)$$

Экономический эффект от снижения расхода топлива определяется из разности

$$\mathcal{E}_{\text{т}} = Q_{\text{д}} + Q_{\text{п}}, \quad (4.10)$$

где  $Q_{\text{д}}$  и  $Q_{\text{п}}$  – средние значения линейного расхода топлива автомобилем до и после внедрения рекомендаций за расчетный период, л.

Средние значения линейного расхода топлива автомобилем до и после внедрения рекомендаций за расчетный период определяются из выражений

$$Q_{\text{д}} = L_p \cdot A_c \cdot q_{\text{нд}}/100 \text{ и } Q_{\text{п}} = L_p \cdot A_c \cdot q_{\text{нп}}/100, \quad (4.11)$$

где  $q_{\text{нд}}$  и  $q_{\text{нп}}$  – соответственно, норма линейного расхода топлива автомобилем до и после внедрения рекомендаций за расчетный период, л/100км.

По результатам исследования эффективности шин грузовых автомобилей в горных условиях предлагается эмпирическая зависимость эффекта  $\mathcal{E}$ , связанного со снижением потери ресурса шин и перерасходом топлива, от пробега шины  $L_{\text{ш}}$

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

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий горные карьерные условия, который в условиях строительства Рогунской ГЭС варьирует в пределах 0,18 ... 0,22;  $n$  – показатель степени.

Результаты расчетов экономического эффекта шин различных типоразмеров на основе предлагаемой зависимости представлены на рис. 4.8. Расчеты произведены на основе экспериментально-теоретических исследований процессов

реализации ресурса шин и расхода топлива грузовых автомобилей в горных карьерных условиях эксплуатации на примере строительства Рогунской ГЭС. Как видно из представленного графика предполагаемый эффект от внедрения разработанных мероприятий возрастает по степенной зависимости с показателем степени 1,1 ... 1,3 в зависимости условий эксплуатации и характеристик шин.

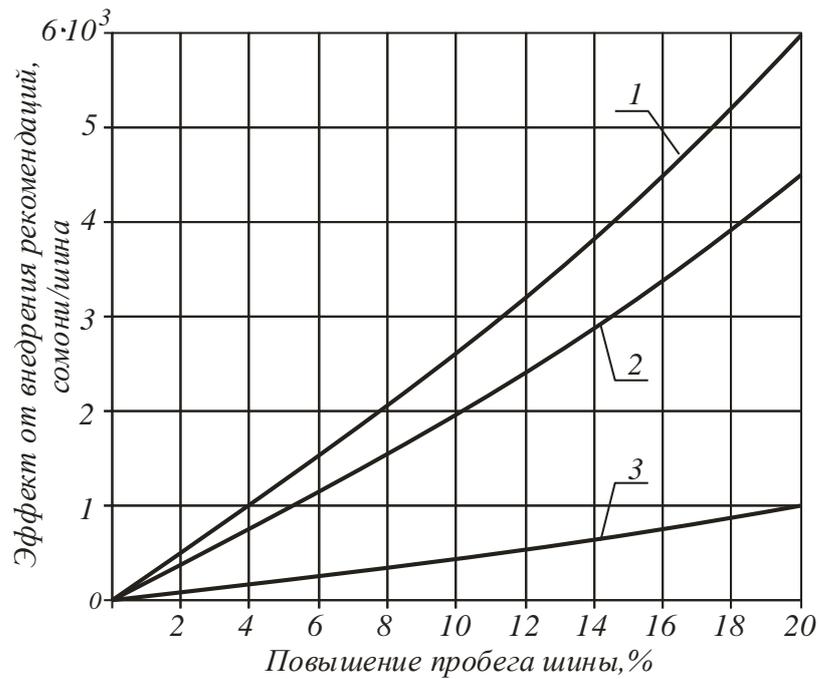


Рисунок 4.8 – Зависимость эффекта от внедрения рекомендаций по повышению пробега шины в горных условиях строительства Рогунской ГЭС для шин типоразмера: 1 – 18.00–25 (Белшина); 2 – 18.00–25 (производство КНР); 3 – 12.00–20 (производство КНР).

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Разработаны классификационные характеристики факторов, влияющих на формирование ресурса ШГА по технико-эксплуатационному признаку, а также по признаку управляемости для горных условий строительства ГТС. По технико-эксплуатационному признаку классифицированы 44 фактора, а по признаку управляемости – 42.

2. Наиболее значимыми факторами, формирующими ресурс шин в горных карьерах при строительстве Рогунской ГЭС, являются:

- дорожные условия;
- температура поверхности шины;
- радиальная нагрузка, приложенная к колесам автомобиля.

Все остальные малозначимые факторы объединены в единый фактор, именуемый как прочие факторы.

Значимость факторов, влияющих на ресурс ШГА установлена по рекомендациям Кузнецова Е.С. на основе многофакторной математической модели.

3. Для установления зависимости относительной интенсивности изнашивания рисунка протектора ШГА предложена эмпирическая формула в виде интерполяционного многочлена Лагранжа.

Предложена упрощенная математическая модель для корректирования нормативов ресурса ШГА, эксплуатируемых в горных условиях строительства ГТС.

4. На основе результатов экспериментальных исследований уточнены и обоснованы числовые значения корректирующих коэффициентов нормативов ресурса ШГА для условий Рогунской ГЭС. Для данных условий экспериментально установлены и теоретически обоснованы следующие значения коэффициентов корреляции:

- $k_D=1-k_d=0,87...0,88$  – для шин типоразмеров 18.00–25 и 12.00–20;
- $k_t=0,86...0,88$ , – для шин типоразмера 18.00–25,  $k_t=0,90...0,94$  – для шин типоразмера 12.00–20;
- $k_G=0,81...0,83$  – для шин типоразмера 18.00–25,  $k_G=0,88...0,93$  – для шин

типоразмера 12.00–20;

–  $k_{np}=0,87\dots 0,91$  – для шин типоразмера 18.00–25,  $k_{np}=0,81\dots 0,89$  – для шин типоразмера 12.00–20;

–  $k_p=0,53\dots 0,66$  – для шин типоразмера 18.00–25,  $k_p=0,56\dots 0,68$  – для шин типоразмера 12.00–20.

5. По результатам экспериментальных исследований определялись основные вероятностно-статистические характеристики значимых факторов, формирующих ресурс шин.

Установлено, что ресурсы ШГА распределяются по нормальному закону и характеризуются следующими показателями:

– для шин типоразмеров 18.00–25:  $L_{cp}=25,14$  тыс. км;  $\sigma=4,05$  тыс. км;  $v=16,00\%$ ;

– для шин типоразмеров 12.00–20:  $L_{cp}=32,2$  тыс. км;  $\sigma=4,1$  тыс. км;  $v=12,7\%$ .

6. Сопоставлены теоретические и экспериментальные значения коэффициентов корректирования нормативов ресурса шин, грузовых автомобилей в условиях строительства ГТС. Средние значения относительных расхождений между теоретическими и экспериментальными данными находятся приблизительно в одинаковых пределах и не превышают 2,4%, что свидетельствует о достаточно высокой достоверности полученных теоретических предпосылок о корректировании нормативов ресурса ШГА в условиях строительства Рогунской ГЭС.

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ**

С целью снижения затрат на автомобильные шины на основе более полного использования их ресурса путем усовершенствования и внедрения методики корректирования нормативов их ресурса для горных условий строительства ГТС рекомендуется:

- разработать и внедрить нормативно-технические мероприятия по обеспечению постоянного контроля температуры шин грузовых автомобилей и давления воздуха внутри шины;

- не допустить чрезмерное превышение полной массы автомобиля путем выбора рационального способа погрузки;

- поддержание необходимого уровня качества дорожного полотна путем своевременного и качественного обслуживания дороги и очистки её поверхности от обломков горной породы и прочих инородных предметов с целью снижения износа протекторной резины и частоты механических повреждений шины.

- пользоваться обобщенным динамическим коэффициентом дороги для облегчения практических расчетов оценки большого количества факторов, влияющих на качество дорожного полотна.

## СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ:

АТП – автотранспортное предприятие;

ВАДС – водитель-автомобиль-дорога-среда;

ГТС – гидротехническое сооружение;

ГЭС – гидроэлектростанция;

ДАО – дочернее акционерное общество;

Н. У. М. – над уровнем моря;

ОАО – открытое акционерное общество;

ШГА – шина грузового автомобиля

## Список литературы

1. Турсунов А.А. Управление работоспособностью автомобилей в горных условиях эксплуатации. Душанбе, Маориш ва Фарханг 2003г. – 356с.
2. Турсунов А.А. Климатическое зонирование территории Республики Таджикистан по условиям эксплуатации автомобильного транспорта / А.А.Турсунов, М.А.Абдуллоев, Ф.С.Бодурбеков, Ф.И. Джобиров // Материалы республиканской конференции “Основные задачи материаловедения в машиностроении и методика их преподавания”. – Душанбе. Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни, 12-13 июня 2012 г.- 165с. С. 50-55.
3. Савчугов, В.И. Корректирование нормативов ресурса шин специальных автомобилей. Дисс. канд. техн. наук: 05.22.10: Савчугов Владимир Иванович. – Тюмень 2005. – 175 с.
4. Горюнов, С.В. Прогнозирование ресурса крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов / С.В. Горюнов, А.А. Хорешок // Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции «Россия молодая». - 2019. С. 103-105.
5. Варченко, В.Г. Разработка методики нормирования пробега шин карьерных автосамосвалов в условиях северной зоны России. Дисс. канд. техн. наук: 05.22.10: Варченко Вадим Георгиевич. – Волгоград 2002 – 101 с.
6. Горюнов, С.В. Разработка методики прогнозирования долговечности крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов. Дисс. канд. техн. наук: 05.05.06: Горюнов Сергей Викторович. – Кемерово - 2021. – 124 с.
7. Бухин, Б. Л. Введение в механику пневматических шин / Б.Л. Бухин. - М.: Химия, 1988. -224 с.
8. ГОСТ 27674-88. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения . – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1988. С.21.
9. Турсунов, А.А. Районирование территории Республики Таджикистан по природно-климатическим условиям эксплуатации автомобильного транспорта / А.А.Турсунов, М.А. Абдуллоев, Ф.С. Бодурбеков, Ф.И. Джобиров // Материалы международной молодёжной научной школы «Воспроизводство, мониторинг и охрана природных, природно-антропогенных и антропогенных ландшафтов». Воронеж. 14 – 15 июня 2012 г. С. 45-50.
10. 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.– Н. Новгород, 2021, № 1 (132). С. 98 – 105.
11. Джобиров Ф.И. Влияние горных дорог Таджикистана на работу

- большегрузного автотранспорта и его шин / Джобиров Ф.И., Каримов Б.Б. // Журнал «Дороги Содружества Независимых Государств» №05 2016(52), С. 102-104.
12. Юнусов, М.Ю. Влияние условий эксплуатации на износ шин карьерных самосвалов / М.Ю. Юнусов, А.Л. Бердиев, Ф.С. Бодурбеков, Ф.И. Джобиров // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования» ТГУ им. акад. М.С. Осими. С. 438-442.
  13. О порядке определения затрат на восстановление износа и ремонт автомобильных шин: Письмо Министерства финансов СССР от 25 сентября 1978 г. №90.-10 с.
  14. 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.
  15. Кнороз, В.И. О влиянии температуры окружающей среды и нагрузочных режимов на износ автомобильных шин / Кнороз В.И., Кнороз А.В. // Каучук и резина. - 1985. - N 8. - С. 32-34.
  16. Умирзоков А. М. Влияние температуры автомобильной шины на ее долговечность / Умирзоков А.М., Соилов А.А., Абдуллоев М.А., Бодурбеков Ф.С., Джобиров Ф.И. // Международная научно-техническая конференция. Институт технических систем, сервиса и энергетики. Изд. СПбГЭУ.- 2015. –С. 192-195.
  17. Сайдуллозода С.С. Оценка надежности системыводитель - автомобиль - дорога - среда (ВАДС) в горных условиях / Сайдуллозода С.С., Мамбеталин К.Т., Умирзоков А.М., Маллабоев У.М. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2020. Т. 20. № 1. С. 150-200.
  18. Циперфин, И.М. Карьерный автомобильный транспорт: справочник / И.М. Циперфин, В.Д. Штейн. – Москва: Недра, 1992. – 415 с.
  19. Абдуллоев, М. А. Анализ влияния температуры воздуха на интенсивность изнашивания шин грузовых автомобилей / М. А. Абдуллоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – № 2(42). – С. 72-76.
  20. Умирзоков А.М. Вероятностно-статистическая оценка влияния факторов, влияющих на пробег автомобильных шин в условиях высокогорных карьеров / А.М. Умирзоков, А.А. Саилов, Ф.И. Джобиров, А.Х. Абаев // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе. Материалы Международной научно-практической конференции студентов,

- аспирантов, молодых учёных и специалистов. Отв. ред. А.Н. Халин. 2018. С. 190-194.
21. Умирзоков А.М. Влияние дорожных, климатических и эксплуатационных факторов на долговечность автомобильных шин / А.М. Умирзоков, А.А. Соибов, М.А. Абдуллоев, Ф.И. Джобиров // Вестник Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими: Душанбе, 2015-№3 (31) 236с. С. 132-135.
  22. Лень Ю.И. Карьерные автодороги - их значимость и проблемы совершенствования/Ю. И. Лень, Ю. В. Стенин, А. Г. Колчанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 3. – С. 103-108.
  23. Глебов, А.В. К вопросу оценки качества карьерных автодорог/ А.В. Глебов, Ю.И. Лель, Д.Х. Ильбульдин, С.А. Арефьев // Известия Уральского государственного горного университета.– № 3 (43).–2016.– С.70-73.
  24. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава (взамен ГОСТ 12536 — 79). – М.: Стандарт-информ, 2019. -22с.
  25. ГОСТ Р 51568-99 (ИСО 3310-1-90) Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. Технические условия. –М.: Издательство стандартов, 2000. -11с.
  26. Тройцкий, В.П. Снижение износа шин управляемых колес обеспечением рационального соотношения углов и поворота при эксплуатации легкового автомобиля в условиях города. Канд. диссертация. Москва. 1983. -198с.
  27. ГОСТ 30412-96. Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерений неровностей оснований и покрытий. – М., 1996. – 9 с.
  28. 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.
  29. Макеева С.М. Ресурсосберегающие технологии ремонта автомобильных дорог / С.М. Макеева, Б.Б. Каримов, Ф.И. Джобиров // Журнал «Дороги Содружества Независимых Государств» №05 2016(53). - С. 80-83.
  30. 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.- P. 150-200.
  31. Захаров Н. С. Влияние сезонных условий на процессы изменения качества автомобилей : дис.. д-ра техн. наук. – Тюмень 2000. -509с.
  32. Работа автомобильной шины / Под ред. В.И. Кнороза. - М.: Транспорт, 1976. - 238 с.

33. Захаров Н.С. Программа "ATPproject". Руководство пользователя. – Тюмень, ТюмГНГУ, 1998. – 36 с.
34. McC. Ettles C.M. A quantitative theory for the computation of tire friction under severe condition of sliding // *Tire Science and Technology*. –1986. – 14. – № 1. – P. 44-69.
35. Непомнящий Е.Ф. Износ при качении с проскальзыванием // *Трение твердых тел*. - М.: Наука, 1964. - С. 111-119.
36. Wesche H. Temperatur-Messungen in rollenden Reifen // *Kautschuk und Gummi Kundstoffe*. - 1969. - 22. - № 3. - P. 11-116.
37. ГОСТ 26585–2003. Шины пневматические крупногабаритные и верхкрупногабаритные для внедорожных карьерных автомобилей. Технические условия. –М: Издательство стандартов, 2004. – 16 с.
38. ГОСТ 13298–90. Шины с регулируемым давлением. Технические условия. – М: Издательство стандартов, 1990. – 23 с.
39. Гуслицер Р.Л., Глушкина Л.С. Зависимость температуры легковых шин от условий движения // *Каучук и резина*, №9, 1969. С. 43-45.
40. Цукерберг С.М. Автомобильные шины новых типов. - М.: Высшая школа, 1969. - 96 с.
41. Ковальчук В.П. Эксплуатация и ремонт автомобильных шин. - М.: Транспорт, 1972. - 256 с.
42. Авдонькин Ф.Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей. Учебное пособие для вузов. -М.: Транспорт, 1985. - 215 с.
43. Grosch K.A., Schallamach A. The load dependence / Grosch K.A. // *Kautschuk und Gumm Kundstoffe*. - 1969. - 22. - № 6. - P. 288-292.
44. Захаров, Н.С. Корректирование нормативов ресурса шин с учетом условий эксплуатации (на примере шин автомобилей-такси и маршрутных автобусов). - Дисс. ...канд.техн.наук. – Тюмень, 1989. - 222 с.
45. Абдуллоев, М.А. Изменение показателей эффективности торможения автомобиля на уклоне / М.А. Абдуллоев, Р.А. Давлатшоев, Ф.С. Бодурбеков, Ф.И. Джобиров // *Материалы Республиканской научно-практической конференции «Проблемы развития транспортной системы Республики Таджикистан»*. 12-13 декабря 2012 г. - С.241-245.
46. Абдуллоев, М.А. Влияние распределения тормозных сил между осями на фазы процесса торможения автомобиля в реальных условиях эксплуатации / М. А.Абдуллоев, Р.А. Давлатшоев, О.С. Ниязов, Ф.И. Джобиров // *Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Новые технологии нефтегазовому региону"*. Том II — Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. - С.152-156.

47. Прогнозирование пробега автомобильных шин эксплуатируемых в условиях переменного рельефа местности - Дисс. канд.техн.наук. – Махачкала, 2012. - 188 с.
48. Кислицин, Н. М. Долговечность автомобильных шин в различных режимах движения / Н. М. Кислицин. - Н.Новгород.: Волго-Вятское кн. изд-во,1992.- 232 с.
49. Кузьмин, Н. А. Процессы и закономерности изменения технического состояния автомобилей в эксплуатации: Учеб. пособие / Н. А. Кузьмин; НГТУ. - Н.Новгород, 2002. - 142 с.
50. 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.
51. 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.
52. Бродский, Г.И. и др. Истирание резины. Москва. Химия. 1975. - 239 с.
53. Рекитар М.И. Оценка влияния пиковых нагрузок на работоспособность шин городских автобусов//Автомобильная промышленность. - 1974. - № 9. - С.11-13.
54. Patorniti, N. P. A systems approach to city design: Exploring the compatibility of sociotechnical systems. / Nicholas P. Patorniti, Nicholas J. Stevens, Paul M. Salmon. // Habitat International. Volume 66, August 2017, P. 42 – 48.
55. Умирзоков А. М. Анализ отказов автомобильных шин в условиях высокогорья Республики Таджикистан / А.М. Умирзоков, А.А. Соибов, М.А. Абдуллоев, Ф.И. Джобиров //Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования» ТТУ им. акад. М.С. Осими. – С. 341-345.
56. Расулов, Т. Учет расчетных характеристик грунтов при проектировании дорожных одежд в Таджикистане / Т. Расулов, Ф.И. Джобиров // Журнал «Дороги Содружества Независимых Государств» №05 2016(54). -С. 104-106.
57. Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. - М.: Транспорт, 1990. - 272 с.
58. Баранов, Е.Г. Основы научных исследований / Е.Г. Баранов, В.А. Бунько, О.В. Колоколов и др. - Киев - Донецк: Вища школа, 1984. - 176 с.
59. Тарновский, Р.Н. Влияние радиальной нагрузки на износ протектора автомобильных шин. // Каучук и резина. - 1973. - № 1. - С.43-44.

60. Завадский, Ю.В. Решение задач автомобильного транспорта и дорожно-строительных машин с помощью регрессионно-корреляционного анализа: Учебн. пособие / МАДИ. - М., 1981. - 116 с.
61. 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. 366-403.
62. Умирзоков, А.М. Корректирование нормативного ресурса шин большегрузных автомобилей в условиях реальной эксплуатации / А.М. Умирзоков, А.А. Соибов, М.А. Абдуллоев, Ф.И. Джобиров // Вестник Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими: Душанбе, 2015-№4 (32) 200с. С. 121-126.
63. 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.– Н. Новгород, 2021, № 1 (132). - С. 98 – 105.
64. Пневматические шины / С.М. Цукерберг, Р.К. Гордон, Ю.Н. Нейенкирхен и др. - М.: Химия, 1973. - 264 с.
65. Королев А.И., Джуромская Е.А. Основы эксплуатации и ремонта автомобилей. - М.: Транспорт, 1972. - 352 с.
66. Петров, А.И. Влияние условий эксплуатации на долговечность и безотказность автомобильных шин. Дисс. канд. техн. наук: 05.22.10: Петров Артур Игоревич. – Тюмень 1999–230 с.
67. Кравец В.Н., Кислицин Н.М., Денисов В.И. Испытание автомобильных шин: Учебн. пособие / ГПИ. - Горький, 1976. - 56 с.
68. Селезнев И.И., Цукерберг С.М. и Ненахов Б.В. Как увеличить пробег автомобильных шин. – М.: Транспорт, 1966. – 123 с.
69. Оценка ровности конструктивных слоёв дорожной одежды универсальной дорожной рейкой: метод. указания к выполнению лаб. работ по дисциплине «Технология и организация работ по строительству дорожной одежды» / сост. Е.В. Андреева. – Омск: СибАДИ, 2011. - 16 с.
70. ГОСТ Р 52399 – 2005. Геометрические элементы автомобильных дорог. – М.: Стандарт-информ, 2006. - 11 с.
71. СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 112 с.
72. 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.
73. Белкин, А. Е. Разработка системы моделей и методов расчета напряженно-деформированного и теплового состояний автомобильных радиальных шин // Дис. д-ра техн. наук. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана. - 1998. - 284 с.
  74. Умирзоков, А.М. Моделирование влияния температуры воздуха на интенсивность износа шин/А.М. Умирзоков, А.А. Соибов, 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. - г. Душанбе, 2020. - С. 309-314.
  75. Габашвили А.А. Экспериментальное исследование температуры в элементах пневматической шины при качении: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М., 1972. - 24 с.
  76. Глускина Л.С. Исследование тепловых режимов работы автомобильных шин в дорожных условиях. - Дис.канд.техн.наук. - М., 1982. - 204 с.
  77. Ivanov, R. Tire wear modeling / R. Ivanov // Transport Problems. – 2016. – Vol. 11. – No 3. – P. 111-120.
  78. Истирание резин / Под ред. Г.И. Бродского. - М.: Химия, 1975. - 240 с.
  79. Качугин, В.Е., Маругов Ю.И. Влияние параметров режима качения на установившуюся температуру шины.//Автомобильная промышленность. - 1974. - № 12. - С. 17-20.
  80. Мороз, Т.Г. Исследование теплового состояния шин 155-13 для автомобилей «Жигули» ВАЗ-2101. Автореф. Дис. ...канд.техн.наук, - М., 1974. - 27 с.
  81. Патент 4381026 (США). Устройство для внутреннего охлаждения шин / Skidmor F.O. - Опубл. 26.04.83.
  82. Шершнева, А.А., Попов М.Т. Средне поверхностная температура шины в зоне контакта с ее дорожным покрытием. - в кн.: Исследование торможения автомобиля и работы пневматических шин. - Омск: Западно-Сибирское кн. изд-во, 1973. - С.132-140.
  83. Умирзоков, А.М. Влияние температуры автомобильной шины на ее долговечность / Умирзоков А.М., Соибов А.А., Абдуллоев М.А., Бодурбеков Ф.С., Джобиров Ф.И. // Международная научно-техническая конференция. Институт технических систем, сервиса и энергетики. Изд. СПбГЭУ, 2015. - 225 с., С. 192-195.
  84. Умирзоков, А.М. Взаимосвязь температурного состояния и долговечности автомобильных шин / Умирзоков А.М., Соибов А.А., Абдуллоев М.А.,

- Бодурбеков Ф.С., Джобиров Ф.И. // Вестник Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими: Душанбе, 2015-№3 (31) 236с. С. 89-95.
85. Резник Л.Г. Адаптация автомобилей к суровым климатическим условиям: Учебное пособие. – Тюмень: ТГУ, 1978. – 70 с.
86. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
87. Захаров Н.С. Влияние условий эксплуатации на долговечность автомобильных шин. - Тюмень: ТюмГНГУ, 1997. - 139 с.
88. Автомобильные шины / Под.ред. В.Л. Бидермана. - М.: Госхимиздат, 1963. - 384 с.
89. Белов В.А. Автомобильные шины. - М.: Воениздат, 1961. - 88 с.
90. Шульце Г. Руководство по шинам. - М.: Транспорт, 1964. - 104 с.
91. Новопольский В.И., Тарновский В.Н. Влияние основных эксплуатационных параметров на износ протектора автомобильных шин // Каучук и резина. - 1979. - N 12. - С.39-44.
92. Умирзоков, А.М. Теоретические предпосылки для обоснования износа автомобильной шины. Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. №4 (52) – 2020. Научно-технический журнал ТГУ им. акад. М.С.Осими.- Душанбе, 2020. -С. 78-82.
93. Джобиров, Ф.И.. Моделирование ресурса шин грузовых автомобилей в горных условиях при строительстве гидротехнических сооружений (ГТС) / Ф.И. Джобиров // Вестник Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими: Душанбе, 20221-№2 (54). -175с. С. 117-121.
94. Бахтурин, Ю.А. Моделирование работы сложных транспортных систем карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - №1. - С. 82-90.
95. Hossain, M.M. Steady State Rolling and Dynamic Response of a Tire at Low Frequency / M.M. Hossain, A. Staples, K. Takami, T. Furukawa // International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering. – 2018. – Vol. 12. – No. 4. – P. 416-422.
96. Махов Р.Р. Влияние скорости движения автомобиля и температуры окружающего воздуха на износ шин / Р. Р. Махов, Н. И. Ющенко, А. С. Волчкова // Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Курск, 2020. – С. 171-173.
97. Устаров, Р. М. Прогнозирование пробега автомобильных шин, эксплуатируемых в условиях переменного рельефа местности (на примере Республики Дагестан) / Р. М. Устаров, М. М. Мамакурбанов // Проблемы развития АПК региона. – 2014. – Т. 18. – № 2(18). – С. 69-72.
98. Горюнов, С.В. разработка методики оценки ресурса крупногабаритных шин

- карьерных автосамосвалов / С.В. Горюнов, А.А. Хорешок // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. - №2. – С. 3-9.
99. Бакеев Р.Б. Проблема определения и корректирования нормативов ресурса автомобильных шин // Проблемы эксплуатации автомобилей, строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин: Межвузовский сб. научн. тр. Тюмень: ТГНУ, 2001. С. 3-5.
  100. Болтинский В.Н. Теория, конструкция и расчет тракторных и автомобильных двигателей. –М.: Сельхозгиз, 1962. - 392 с.
  101. Болтинский В.Н. Теория, конструкция и расчет тракторных и автомобильных двигателей. –М.: Сельхозгиз, 1962. - 392 с.
  102. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, 1977. - 832с
  103. Агеев, Л. Е., Бахриев С. Х. Эксплуатация энергонасыщенных тракторов. - М.: Агропромиздат, 1991. - 271 с.
  104. Положение о ТО и Р.
  105. ГОСТ Р 51709–2001– Автотранспортные средства, требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки. Издательство стандартов, 2000 – 86 с.
  106. ГОСТ 10528-90. Нивелиры. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1990. –15 с.
  107. ГОСТ 24555-81. Порядок аттестации испытательного оборудования. –М.: Издательство стандартов, 1981 – 10 с.
  108. Определение гранулометрического состава дисперсных материалов: методические указания к выполнению лабораторных работ / сост. Кантаев А.С., Брус И.Д.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 12 с.
  109. ГОСТ 28243–96. Пирометры. Общие технические требования. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. 13 с.
  110. ГОСТ 30414-96. Весы для взвешивания транспортных средств в движении. Общие технические требования. –Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. -8 с.
  111. ГОСТ 28169–89. Шины пневматические. методы определения износостойкости шин при дорожных испытаниях. –М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. -15 с.
  112. Старостин, А. В. Методика оценки и прогнозирования эксплуатационной надежности ошипованных шин: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А. В.

- Старостин – Вологда, 2007. – 170 с.
113. ГОСТ 25692–83. Шины пневматические. метод определения статического дисбаланса покрышки. –М: Издательство стандартов, 1991. – 4 с.
114. Кравцов А.В. Электрические измерения. М.: Агропромиздат, 1988. -239 с.
115. Методика статистической обработки эмпирических данных / РТМ 44-62. М.: Госстандарт, 1966. 101 с.
116. Гафарова, Л.М. Об особенностях применения критерия согласия Пирсона  $\chi^2$  / Гафарова, Л.М., Завьялова И.Г., Мустафин Н.Н. // Экономические и социально-гуманитарные исследования, 2015. № 4(8). - С. 63-67.
117. ГОСТ 33101–2014. Дороги автомобильные. Покрытия дорожные. Методы измерения ровности.. – М.: Стандартиформ, 2016. – 23 с.
118. Эвиев, В.А. Методология повышения эффективности функционирования тяговых и тягово-приводных агрегатов за счет оптимизации эксплуатационных режимов : дисс. ... док. техн. наук. 05.20.01 / Эвиев, В.А. – Санкт-Петербург-Пушкин, – 2005. – 483 с.
119. 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 ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2020. –Т 20, №1 – С. 38–46. DOI:10.
120. Рябчинский, А.И. Экологическая безопасность автомобиля; /Рябчинский А.И., Трофименко Ю.В., Шелмаков С.В. // Под ред. Член–корр. РАН Луканина В.Н./ МАДИТУ, 2000. - 95 с.
121. Baranowski, P. Assessment of Mechanical Properties of Off-road Vehicle Tire / Baranowski, P. & Bogusz, P. & Gotowicki, P. & Małachowski, J // Coupons Testing and FE Model Development. Acta mechanica et automatica. 2012, Vol. 6. No. 2. -P. 17-22.
122. Все о шипах противоскольжения // За рулем. - 1981. - № 2. - С. 30-31.
123. Tire temperature: measure of servis life // Pit and Quarri. - 1982. - 75. - №4. - P. 62