

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-  
строительный университет (СПбГАСУ)»**

*На правах рукописи*

**САНДАН Нелли Тимуровна**

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН, УЧИТЫВАЮЩАЯ  
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ  
РЕСПУБЛИКИ ТЫВА)**

Специальность: **05.05.04** — «Дорожные, строительные и подъемно-  
транспортные машины»

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор техн. наук, проф. Евтюков С.А.

Санкт-Петербург – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
<b>ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСА НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В РЕСПУБЛИКЕ ТЫВА .....</b>	<b>13</b>
1.1. Анализ современных тенденций, формирующих необходимость повышения эффективности эксплуатации наземных транспортно-технологических машин в Республике Тыва .....	13
1.2. Анализ природно-климатических условий Республики Тыва, влияющих на эксплуатацию наземных транспортно-технологических машин.....	21
1.3. Анализ практики проведения ТО и Р наземных транспортно-технологических машин в исследуемых условиях .....	27
1.4. Анализ теоретических исследований, отечественного и зарубежного опыта по вопросам организации ТО и ремонта машин .....	29
1.5. Результаты по первой главе .....	37
<b>ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА .....</b>	<b>40</b>
2.1 Влияния износа на эксплуатационные свойства наземных транспортно- технологических машин в процессе эксплуатации .....	40
2.2. Влияние природно-климатических условий местности на расход топлива и моторных масел НТТМ.....	47
2.3. Влияние климатических и географических региональных особенностей на эксплуатацию наземных транспортно-технологических машин на примере Республики Тыва.....	57
2.4. Результаты по второй главе .....	70
<b>ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРРЕКТИРОВАННОЙ ДЛЯ КОНКРЕТНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРИОДИЧНОСТИ</b>	

<b>ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН</b> .....	72
3.1. Структура методики корректирования периодичности ТО машин.....	72
3.1.1. Определение метода исследования влияния сложного комплекса факторов на работоспособность НТТМ .....	72
3.1.2. Аналитическая модель определения показателей ТО и Р эксплуатации НТТМ в виде дискретных зависимостей .....	75
3.2. Установление отклонения режимов технического обслуживания НТТМ от нормативных параметров .....	86
3.2.1. Методика определения предельной абсолютной погрешности трудоемкости ТР методом наименьших квадратов.....	86
3.2.2. Расчёт предельной абсолютной погрешности при определении трудоемкости ТР НТТМ методом наименьших квадратов.....	89
3.3. Выбор критериев оптимизации в системе технического обслуживания и текущего ремонта НТТМ.....	94
3.4. Результаты по третьей главе .....	101
<b>ГЛАВА 4. МЕТОДИКА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОДХОДА К ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ТО и Р НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН</b> .....	103
4.1. Разработка алгоритма определения эффективности эксплуатации машины	103
4.1.1. Алгоритм определения показателей ТО и Р в виде дискретных зависимостей .....	103
4.1.2. Определение коэффициента корректирования трудоёмкости ТР НТТМ в условиях Республики Тыва.....	107
4.2. Разработка методики оценки эффективности использования машин с учетом установленных закономерностей изменения технико-экономических показателей в зависимости от наработки с начала эксплуатации .....	110
4.2.1. Модель определения эффективности НТТМ в отдельных дискретных состояниях .....	111

4.2.2. Оптимизация системы ТО и Р НТТМ на основе установленных закономерностей изменения технико-экономических показателей.....	113
4.3. Результаты по четвёртой главе .....	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	119
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....	122
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	124
Приложение А – Схема комплексного влияния основных климатических факторов и атмосферных явлений на свойство материалов и надежность машин.....	138
Приложение Б – Исследование показателя трудоемкость текущего ремонта НТТМ .....	139
Приложение В – Акты внедрения результатов работы.....	142

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность проблемы.** Единое экономическое пространство РФ включает в себя большое множество больших и малых территорий (регионов) с значительными отклонениями от среднестатистических показателей роста экономического и промышленного потенциала. Теория развития регионов трактует такие специфические или особенные территории, как территории проблемного развития или проблемные регионы. Наличие таких территорий приводит нарастанию дезинтеграционных тенденций за счет ослабления межрегиональных связей. Примером такого региона в РФ является Республика Тыва. Основным потенциалом экономического развития республики является уникальная минерально-сырьевая база, расположенная в разнообразном природно-ландшафтном территориальном пространстве. Основные возможные конкурентные преимущества республики связаны с горнодобывающей промышленностью и производством строительных материалов, но эффективность данных производств крайне низкая. Одной из основных причин данной негативной ситуации является низкая производительность комплекса наземных транспортно-технологических машин (НТТМ) в республике. Основной сложностью повышения эффективности эксплуатации НТТМ являются специфические природно-климатические условия. Так, в Республике Тыва зимой число отказов НТТМ (экскаваторов, бульдозеров, автогрейдеров и т.д.) увеличивается в 3-7 раз по сравнению с летним периодом, затраты на ремонтные работы возрастает на 30-50%, а производительность падает на 1,4...1,6 раза, что увеличивает трудоемкость ремонтных работ и требует развития производственно-технической базы [70]. Чтобы решить указанные проблемы и реализовать актуальную программу действий, представленную в постановлении Правительства Республики Тува «Об утверждении Стратегии развития топливно-энергетического комплекса Республики Тыва на период до 2030 года», направленную на преодоление кризисного состояния, необходимо повышение эффективности эксплуатации

комплекса НТТМ, а именно научно-обоснованное решение задачи эффективного поддержания НТТМ в работоспособном состоянии.

Выбор наиболее эффективного варианта использования машинотракторного парка НТТМ применительно к специфическим природно-климатическим условиям эксплуатации с учетом реальных объемов и сложившейся возрастной структуры парка (в настоящее время парк наземных транспортно-технологических машин в республике Тыва характеризуется сильной изношенностью и значительным исчерпанием ресурса) [70] является сложной оптимизационной задачей, в которой важное значение имеет определение математических моделей управления процессами технического обслуживания и ремонта (ТО и Р). Обеспечивать научные обоснованные методы управления ТО и Р НТТМ необходимо применяя специализированные методики индивидуального подхода к технико-экономической оценке эффективности процессов ТО и Р НТТМ адаптированные в современных условиях его эксплуатации.

**Степень разработанности темы исследования.** Большой вклад в исследование вопросов повышения эффективности использования техники занимались В.И. Баловнев, М.М. Болбас, А.В. Вавилов, Д.П. Великанов, В.М. Власов, Д.П. Волков, Д.В. Волков, П.Н. Волков, Н.Г. Гаркави, Н.Г. Домбровский, С.А. Евтюков, Б.Г. Ким, Ф.Ю. Керимов, Б.С. Клейнер, Г.В. Крамаренко, Р. В. Кугель, Е.М. Кудрявцев, Е.С. Кузнецов, Е.С. Локшин, И.А. Луйк, А.Н. Максименко, В.С. Малкин, В.М. Михлин, С.Н. Николаев, А.Н. Островцев, В.Б. Пермяков, С.К. Полянский, С.В. Репин, В.К. Руднев, Б.Ф. Хазов, А.М. Харазов, А.М. Шейнин и многие другие авторы.

Отличительной особенностью проанализированных работ перечисленных авторов является использование методов математического моделирования, в основе которых должна находиться необходимая экспериментальная база эмпирических данных, имеющая непосредственное отношение к исследуемому процессу или явлению [114]. Основной трудностью применения данного инструмента математического моделирования исследуемых процессов является то, что с увлечением количества факторов резко увеличивается необходимое

количество эмпирических данных или необходимое количество опытов, так как при проведении сложных исследований объектов или процессов во избежание грубых ошибок необходимо ввести в рассмотрение максимально возможное число факторов. Практические данные показывают обратную ситуацию, с увеличением срока эксплуатации НТТМ в предприятиях Республики Тыва увеличиваются интервалы производимых работ по текущему ремонту (ТР), в связи со значительными непроизводственными простоями техники. Поэтому определяется необходимость разрабатывать модели исследования процессов ТО и Р, позволяющие искусственно позволяющий сократить число опытов не за счёт сокращения числа факторов, а за счет аналитических методов снижения неопределённости в исследуемой системе.

**Цель исследования.** Разработка методики, позволяющей повысить эффективность эксплуатации наземных транспортно-технологических машин в климатических условиях Республики Тыва

**Задачи исследования:**

1. Выполнить анализ системы технической эксплуатации НТТМ в природно-климатических условиях Республики Тыва и особенностей применения системы планово-предупредительного ремонта, влияющих на качества проведения ТО и Р дорожно-строительной техники.
2. Выявить соответствие применяемых методов и моделей организации технических воздействий ТО и Р специфическим природно-ландшафтными особенностям исследуемых условий.
3. Сформулировать математическую модель определения локальной эффективности НТТМ в количественных оценках для отдельных дискретных состояний эксплуатации ДСМ
4. Разработать аналитический аппарат показателей ТО и Р в виде дискретных зависимостей, позволяющий эффективно управлять процессами технической эксплуатации (ТЭ) НТТМ в условиях республики Тыва.

5. Разработать методику оценки эффективности использования НТТМ с учетом установленных закономерностей изменения технико-экономических показателей в зависимости от наработки с начала эксплуатации [47].
6. Выполнить апробацию и технико-экономическое обоснование применения методики индивидуального подхода к технико-экономической оценке эффективности процессов ТО и Р НТТМ.

**Объект исследования** – система организации ТО и Р НТТМ, отражающая особые природно-климатические условия эксплуатации в Республике Тыва.

**Предмет исследования** – методы и математические модели управления техническим состоянием НТТМ, основанные на комплексных и удельных показателях технической эксплуатации.

**Рабочая гипотеза.** Существующие методики организации ТО и Р основаны на представлении показателей технического состояния НТТМ в процессе его ТЭ в виде непрерывных форм математических зависимостей. Реальной практика ТО и Р НТТМ в Республике Тыва показывает, что в целях планирования и в практических расчётах, связанных с управлением и оценкой деятельности может быть использована дискретная форма представления показателей технической эксплуатации. Поэтому необходима разработка методики индивидуального подхода к технико-экономической оценке эффективности процессов ТО и Р НТТМ, основанной на дискретном представлении показателей ТО и Р и методах решения многокритериальных задач в условиях неопределенного состояния внешней среды, позволяющей повысить эффективность системы ТО и Р НТТМ. В качестве оптимизируемого параметра принимается показатель - интервал ТО.

**Методологическая основа исследования.** Для решения задач исследования применяются методы системного анализа, регрессионного анализа и корреляционного анализа, теория вероятностей и методы линейного программирования в применении к решению многокритериальных задач.

**Область исследования** соответствует паспорту научной специальности 05.05.04 — «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины»:



- Пункту 2. Методы моделирования, прогнозирования, исследований, расчета технологических параметров, проектирования, испытаний машин, комплектов и систем, исходя из условий их применения.
- Пункту 5. Методы повышения долговечности, надежности и безопасности эксплуатации машин, машинных комплектов и систем.

**Научная новизна** исследования заключается в достижении следующих результатов:

1. Разработана модель расчёта абсолютной погрешности при определении трудоемкости ТР НТТМ при применении методом наименьших квадратов, показавшая, что чем выше «возраст» НТТМ и последовательный номер дискретного состояния ТО и Р НТТМ, тем больше предельная абсолютная погрешность в определении трудоёмкости ТР.
2. Установлены критерии оптимизации в системе технического обслуживания и текущего ремонта НТТМ на основании следующих доказанных положений: продолжительность простоев в ТО и ремонте во многих случаях не имеет тесной связи с затратами на их производство ремонтно-профилактических работ, при этом затраты на ТО и Р характеризуют эффективность системы поддержания техники в исправном состоянии, принятой изучаемой организации, но не коррелируются с показателями надёжности и производительности
3. Сформулирована аналитическая модель определения показателей ТО и Р в виде дискретных зависимостей при интенсивной эксплуатации техники в условиях, которые превышают установленные требования к надежности для заданных условий эксплуатации
4. Разработана комплексная методика оценки эффективности НТТМ на базе методов решения многокритериальных задач в условиях неопределенного состояния внешней среды, достоверно повышающая эффективность эксплуатации НТТМ в заданном пространстве измерений и ограничений исследуемой среды (условий эксплуатации)

**Теоретическая значимость** работы заключается в том, что впервые разработана аналитическая модель повышения эффективности эксплуатации НТТМ, в которой:

- оптимизируемыми параметрами в исследуемой системе ТО и Р являются: локальная эффективность НТТМ в количественных оценках для отдельных дискретных состояний;
- критериями оптимизации являются свойства: надежность НТТМ, определяемая показателями ТО и Р ДСМ (интервал ТО и трудоемкость ТР); эксплуатационная производительность НТТМ и удельные затраты на эксплуатацию НТТМ.
- оптимизируемым показателем является интервал ТО НТТМ.

**Практическая значимость** диссертационного исследования заключается в:

- 1) Разработке алгоритма определения показателей ТО и Р в виде дискретных зависимостей, позволяющих эффективно управлять процессами ТЭ НТТМ в условиях республики Тыва.
- 2) Разработке модели последовательного (по дискретным состояниям) определения эффективности НТТМ по установленным критериям эффективности в количественных оценках
- 3) Определении коэффициент корректирования трудоёмкости ТР НТТМ в условиях Республики Тува, позволяющий снизить степень неопределённости в исследуемой системе управления технических показателей НТТМ.
- 4) Получении функциональных зависимостей изменения эффективности системы ТО и Р в зависимости от установленного доминирующего критерия оптимизации.
- 5) Разработке комплексной методики индивидуального подхода к технико-экономической оценке эффективности процессов ТО и Р НТТМ.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Оценка состояния системы эксплуатации наземных транспортно-технологических машин в Республике Тыва
2. Математическая модель определения скорректированной для конкретных условий эксплуатации периодичности ТО наземных транспортно-технологических машин
3. Аналитический модель расчёта абсолютной погрешности при определении трудоемкости ТР НТТМ
4. Методика определения коэффициента корректирования трудоёмкости ТР НТТМ в условиях Республики Тыва
5. Модель многокритериальной оптимизации в системе технического обслуживания и текущего ремонта НТТМ с показателем оптимизации интервал ТО
6. Методика оценки эффективности использования НТТМ с учетом оптимизации установленных закономерностей изменения технико-экономических показателей системы ТО и Р.

**Личный вклад автора.** Все основные положения и разработки исследования, сформировавшие основу научно-методического повышения эффективности эксплуатации НТТМ в климатических условиях Республики Тыва принадлежат автору.

**Степень достоверности** полученных результатов исследования подтверждается:

- 1) использованием методов системного анализа, системной инженерии, математического теорий вероятностей и теории принятия решений: векторной оптимизации и линейного программирования;
- 2) отсутствием противоречий с ранее проводимыми исследованиями другими учеными по тематике технической эксплуатации НТТМ
- 3) публикациями в рецензируемых изданиях ВАК РФ и в изданиях входящих в международные базы цитирования Scopus и WoS.

**Апробация результатов.** Результаты исследования используются для решения вопросов производственной деятельности в Министерстве дорожно-транспортного комплекса Республики Тыва, что подтверждено соответствующими справками о внедрении.

Теоретические положения и результаты работы используются в учебном процессе СПбГАСУ и ТувГУ по направлению подготовки кадров высшей квалификации 23.05.01 – Специалист, 23.04.02 – Магистратура (научная специальность 05.05.04 – «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины»). Издан один учебник – «Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин» в 2019 году.

Основные положения диссертационной работы доложены на конференциях профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»: всероссийской научно-практической конференции «К вопросу эксплуатации дорожных и строительных машин в городе Кызыл» (4-6 апреля 2018 г., Санкт-Петербург, СПбГАСУ); ежегодной научно-практической конференции аспирантов и молодых ученых Туvinского государственного университета «Надежность и эффективность наземных транспортно-технологических машин» (2017 г., Кызыл, ТувГУ); международной научно-практической конференции «Область эффективного применения наземных транспортно-технологических машин и выбор целесообразных вариантов механизации» (2017 г., Томск).

**Публикации и патенты.** Основные положения и результаты исследования опубликованы в 16 печатных работах, в том числе в 5 научных статьях в журналах, рецензируемых ВАК РФ и в 1 монографии.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация содержит: введение, 4-е главы, заключение, список литературы из 130 наименований и приложений. Работа изложена на 144 страницах основного текста.

# **ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСА НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В РЕСПУБЛИКЕ ТЫВА**

## **1.1. Анализ современных тенденций, формирующих необходимость повышения эффективности эксплуатации наземных транспортно- технологических машин в Республике Тыва**

Единое экономическое пространство РФ включает в себя большое множество больших и малых территорий (регионов) с значительными отклонениями от среднестатистических показателей роста экономического и промышленного потенциала. Теория развития региональной экономики трактует такие специфические или особенные территории, как территории проблемного развития или проблемные регионы. Наличие таких территорий приводит к росту трансформаций в единые экономические пространства государства. Следствием данной ситуации являются высокие показатели региональной дифференциации в развитии территорий, что приводит к усилению социально-экономического неравенства (разрывов региональных уровней) и нарастанию дезинтеграционных тенденций за счет ослабления межрегиональных связей. Что, в свою очередь, может представлять серьезную угрозу территориальной целостности РФ, ее национальной и экономической безопасности [82].

Примером такого региона в РФ является Республика Тыва. Этот субъект РФ расположенный на юге Восточной Сибири и входит в состав Сибирского федерального округа (СФО). Основным потенциалом экономического развития Республики Тыва является уникальная минерально-сырьевая база, расположенная в разнообразном природно-ландшафтном территориальном пространстве. Основные возможные конкурентные преимущества Республики Тыва связаны с горнодобывающей промышленностью, производством строительных материалов, а также переработкой продукции сельского хозяйства. Регион республики Тыва отличается значительным разнообразием различных видов полезных ископаемых

и огромными перспективами их высокоэффективного освоения. На территории Республики Тыва разведано более 20 месторождений, обладающих значительными запасами остродефицитных видов минерального сырья [82]. «При таком исключительном богатстве и разнообразии и богатстве минеральных и природных ресурсов, являющихся отличной основой для эффективного развития минерально-сырьевых центров и экономического роста, уровень их промышленного освоения крайне низок. Освоение этого потенциала сдерживается зачаточным состоянием развития производственного комплекса и транспортно-инженерной инфраструктуры».

Для проблемного региона важно определить концептуальные направления развития его экономики, в том числе промышленного комплекса, найти источники экономического роста, место в национальном и региональном пространстве РФ [61], а Республика Тыва относится к наименее развитым регионам России. Об этом свидетельствуют данные таблицы 1.1 [82].

Таблица 1.1. – Доля республики Тыва в РФ и СФО по основным экономическим показателям в 2010 и 2020 гг., % [75]

Показатели	2010 г.	2010 г.	2020 г.	2020 г.
	Доля Тывы в РФ	Доля Тывы в СФО	Доля Тывы в РФ	Доля Тывы в СФО
ВРП	0,08	0,69	0,07	0,73
Промышленность	0,02	0,2	0,02	0,2
Сельское хозяйство	0,03	0,25	0,03	0,27
Сфера услуг	0,03	0,24	0,03	0,3
Инвестиции в основной капитал	0,01	0,32	0,02	0,4

Как видно из таблицы 1.1, доля Республики Тыва в экономике РФ и СФО за рассматриваемые 10 лет практически не изменилась, то есть в благоприятный период развития экономики РФ (2010–2020 гг.) экономика Республики практически не развивалась. В последующие годы неблагоприятной

экономической ситуации, вызванной сложными международными процессами, ситуация практически не изменилась. В результате объем валового регионально продукта (ВРП) в Республике Тыва на душу населения составляет около 120 тыс. руб., что в 2,5 раза ниже среднего по РФ [75,82].

Важно отметить, что структуре ВРП республики Тыва доля промышленности составляет около 11 %, тогда как в целом в РФ более 30 %. В Республике преобладает добывающая промышленность (около 6,0 % в структуре ВРП), в основном это добыча угля. При этом доля обрабатывающей промышленности в структуре незначительно и составляет около 2,7 % [82]. Анализируя эти данные можно сделать вывод, что в Республике Тыва, как и в других проблемных республиках РФ присутствуют признаки неразвитости экономики. Экономика Республики Тыва существует за счет трансфертов субсидий из федерального бюджета РФ, который и оплачивает рост нерациональных расходов [46]. Низкий экономический потенциал Республики Тыва обуславливает очень высокую зависимость от трансфертов из национальной экономики, их доля составила более 60 % доходов консолидированного бюджета республики. Это самые высокие показатели среди регионов СФО [81,82].

Как уже отмечалось, основу ресурсного потенциала развития Республики Тыва составляет минерально-сырьевая база. Недра Республики богаты рудами цветных и редких металлов, углем, железной рудой, асбестом, ртутью и золотом. Например, основное месторождение угля в Республике Тыва это Улуг-Хемский каменноугольный бассейн, а в г. Ак-Довурак ведется добыча асбеста, но в настоящее время процесс активного освоения этих запасов крайне неэффективен и невелик [82].

В Республике Тыва в настоящее время осуществляют добычу каменного угля карьерным способом два предприятия, подземным – одно предприятие. Уголь реализуется на внутренние нужды республики (среднегодовое потребление в пределах 500 тыс. тонн) и в другие регионы РФ (металлургия): ООО «Тувинская горнорудная компания», совокупные балансовые запасы около 75 млн. тонн угля; ООО «Угольная компания «Межегейуголь», балансовые запасы месторождения

266,0 млн. тонн угля; ООО «Тувинская Энергетическая Промышленная Корпорация-Майнинг», балансовые запасы 945,9 млн. тонн угля. Для повышения эффективности отрасли в Республике Тыва прорабатывается вопрос освоения новых месторождений каменного угля. С учетом освоения новых месторождений каменного угля прогнозируемое увеличение объемов добычи составит 4,7 процента в год с 2020 по 2030 гг. [83] (рисунок 1.1).

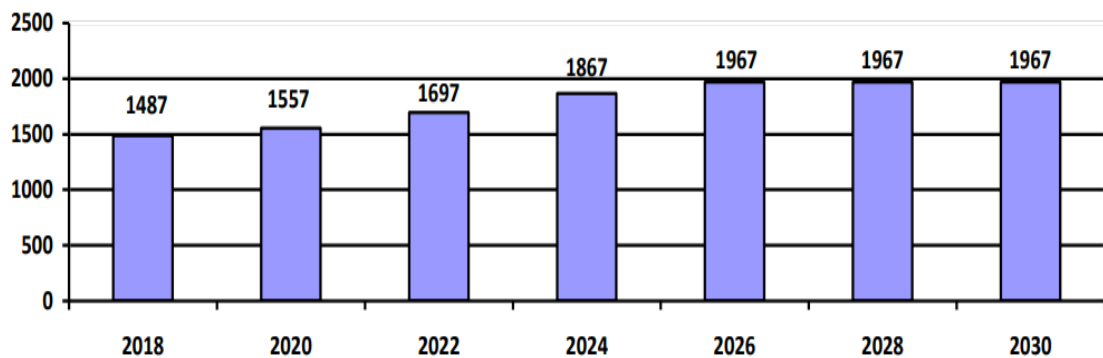


Рисунок 1.1. – Прогноз добычи каменного угля в Республике Тыва с 2018 по 2030 гг. [76]

Горнорудные предприятия и автомобильные дороги Республики Тыва расположены на большой высоте (1500-2000 м) над уровнем моря на перевалах, для которых характерны опасные продольные уклоны и серпантины, а также температура воздуха может достигать +30...+40°C, а может падать до – 5-10°C. Поэтому эксплуатация транспортно-технологических машин на данной территории имеет особенности.

Вышеописанные факторы влияют на надежность техники, затрудняют движение, снижают работоспособность, повышают транспортные расходы и служат причиной дорожно-транспортных происшествий [51,103].

Понижение атмосферного давления с увеличением высоты над уровнем моря приводит к снижению температуры кипения воды. Для анализа условий технической эксплуатации техники рассмотрим некоторые предприятия, расположенные на территории республики. Учитывая особенности рельефа территории республики (80-96 территории составляют горы), можно



предположить, что все предприятия будут находиться на абсолютной высоте выше 600 м над уровнем моря [103].

Данные высотного расположения предприятий Республики Тыва показывают, что высотные условия эксплуатации техники в несколько раз превышают нормальные показатели стандартных условий эксплуатации техники.

Горные условия эксплуатации техники резко отличаются от таковых на равнинной местности (рис. 1.2, 1.3).



Рисунок 1.2. – Особенности дорог горной местности



Рисунок 1.3. – Особенности условий горнорудных предприятий

Например, с изменением абсолютной высоты на каждую 1000 м мощность бензиновых двигателей из-за увеличения разреженности воздуха и падения

содержания кислорода уменьшается на 12-96, что приводит к росту расхода воздуха, и эффективность работы тормозных систем пневматического типа тоже падает в несколько раз. Усложненность вертикального подъема, серпантинность в условиях высокогорья очень сильно влияют на надежность узлов и агрегатов, в основном это связано с небольшой плотностью воздуха, от этого страдают двигатель, пневматические системы, например тормозные системы техники. Количество торможений на км пути при сложных условиях высокогорья увеличивается на 10-19 раз. В некоторых случаях особо сложных дорожных условий температура накладок барабанов торможения достигает у тормозных механизмов 460-490<sup>0</sup>С, у передних тормозов – 270-290<sup>0</sup>С. Эти показатели в несколько раз выше у дисковых тормозов воздушного охлаждения [51,103].

При движении транспортного средства среднего класса с одинаковой скоростью на некотором определенном участке дороги с изменением углов наклона дороги в 5 раз (от 2 до 10%) нагрузка в тормозных системах может возрасти в 17 раз. Причины – в больших нагрузках на ходовую часть транспортирующей техники, увеличении воздействий на тормозную систему на длительных спусках, а также в большом количестве поворотов малого радиуса.

При эксплуатации техники в горных условиях местности общий профиль дороги достаточно сложный, что также негативно влияет на надежность состояния дорожной сети. В результате этого в процессе [51] непосредственной работы техники все узлы и агрегаты работают в усиленном режиме нагрузок, и результатом повышенных нагрузок является падение надежности узлов, агрегатов, тормозов и подвески в целом (см. таблицу), увеличение нагрузок на технические зоны креплений и сложность регулировки. Анализ вышерассмотренных факторов показывает, что во всех случаях износ увеличивается в несколько раз.

На рис. 1.4. видно, что внешние факторы, влияющие на надежность технической системы в известных пределах, с увеличением высоты над уровнем моря изменяют силу воздействия в большую сторону и в некоторых случаях в разы.

Данная схема представляет собой ромб с двумя направлениями – вниз и вверх, в обоих случаях интенсивность воздействия внешних факторов увеличивается, что негативно отражается на надежности и сроках службы узлов и агрегатов.

Все это свидетельствует о том, что при эксплуатации автомобиля в горных условиях необходимо обратить особое внимание на техническое состояние органов управления автомобиля, приборов освещения и сигнализации и правильность их установки, проведение крепежных и регулировочных работ. Для обеспечения нормальной эксплуатации автомобилей в горной местности необходимо произвести техническую подготовку автомобилей к работе в горных условиях, сократить на 40-96 периодичность [34] технического обслуживания и строго выполнять специальные правила вождения в горной местности [103].

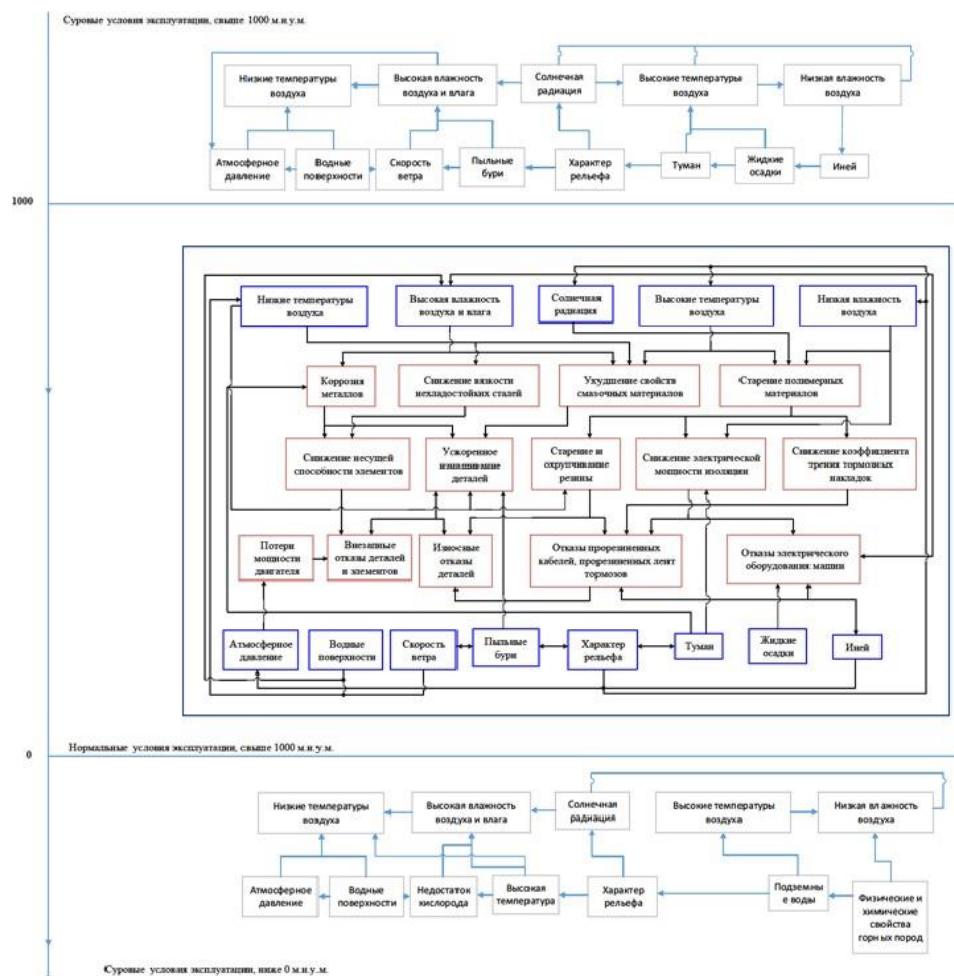


Рисунок. 1.4. – Интенсификация воздействия различных факторов на технику в зависимости от высоты над уровнем моря

Чтобы решить указанные проблем и реализовать актуальную программу действий, представленную в постановлении Правительства Республики Тува «Об утверждении Стратегии развития топливно-энергетического комплекса Республики Тува на период до 2030 года», направленную на преодоление кризисного состояния необходимо повышение эффективности эксплуатации комплекса НТТМ, задача поддержания НТТМ в работоспособном состоянии является одной из наиболее актуальных. Но в настоящее время парк наземных транспортно-технологических машин в республике Тува характеризуется сильной изношенностью и значительным исчерпанием ресурса [70]. В то же время успешной работе мешает НТТМ низкий организационно-технический уровень оперативного управления ремонтом техники, что является следствием недостаточной теоретической разработки оптимальных расчетных моделей [70]. При правильной эксплуатации, оптимизации процессов выполнения технического обслуживания (ТО) НТТМ и рациональной организации труда повышается производительность, сокращаются расходы на эксплуатацию и ремонт техники. Но основной сложностью повышения эффективности эксплуатации НТТМ в районах с суровым климатом происходит увеличение количества отказов и тем самым снижается их производительность. Так, в Республике Тува зимой число отказов наземных транспортно-технологических машин (экскаваторов, бульдозеров, автогрейдеров и т.д.) увеличивается в 3-7 раз по сравнению с летним периодом, затраты на ремонтные работы возрастает на 30-50%, производительность падает на 1,4...1,6 раза, что увеличивает трудоемкость ремонтных работ производственно-технической базы [70,123].

В ранее проведенных исследованиях по эксплуатации НТТМ в Республике Тува отмечается ускоренный износ деталей, узлов и агрегатов и повышенная вероятность отказов техники, так как по показаниям их технической документации следует, что они изготовлены по техническим условиям, преимущественно предназначенным для использования в средней полосе России [55,70]. Климатические условия влияют на производительность труда в строительстве, отражаются на работоспособности персонала, обслуживающего

технику, приводят к сокращению продолжительности рабочего времени рабочего дня или к полному прекращению работ.

Республика Тыва по геоморфологическом и физико-географическом отношении характеризуется тундровым плоскогорьем с вечной мерзлотой, горными массивами, соединяющими со степью и по природно-климатическим условиям, является регионом с резко континентальным климатом – зимой минимальная температура составляет – 60°C, а летом максимальная температура составляет +48°C. В связи с этим эксплуатацию и ТО НТТМ необходимо производить с учетом природно-климатических и рельефных условий Республики Тыва, что в свою очередь создают особые условия, требующие разработки научно-методического обоснования [124].

## **1.2. Анализ природно-климатических условий Республики Тыва, влияющих на эксплуатацию наземных транспортно-технологических машин**

Климат Республики Тыва характеризуется исключительно большим разнообразием, при этом более 80% территории страны относится к климатической зоне со среднегодовой температурой января ниже 40°C. В соответствии с ГОСТ 15150 – 69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды (с Изменениями № 1,2,3,4,5) [15] в части воздействия климатических факторов внешней среды на условия эксплуатации, хранения и транспортировки машин и изделий вся территория нашей страны разделена на районы [18].

Наземные транспортно-технологические машины эксплуатируют в основном в трех районах: с тропическим, умеренным и холодными климатами. К районам с умеренным климатом отнесены районы, где средняя из ежегодных максимумов температура воздуха равна или ниже +40°C, а средняя из ежегодных минимумов температура воздуха равна или выше -45°C. К районам с холодным

климатом отнесены районы (рис. 1.5), в которых средняя из ежегодных абсолютных минимумов температура воздуха ниже  $-45^{\circ}\text{C}$  [100].



Рисунок. 1.5. – Районы с холодным климатом

Из климатических факторов зоны холодного климата на работу машин и механизмов действуют низкие температуры, сильные ветры, снежные заносы, туманы и др. Продолжительность зимнего периода в республике превышает 180 дней, а в северных районах – 250 дней в году. Например, в районе Монгун-Тайга 200 дней в году имеют отрицательную температуру воздуха, из них 150 дней – температуру ниже  $-30^{\circ}\text{C}$ . Для данного района характерно резкое колебание давления воздуха, изменяющегося в пределах 763-716 мм рт. ст., средняя годовая скорость ветра составляет 6 м/с, а в зимние месяцы средняя годовая скорость ветра достигает 8 м/с. В течение 90 дней в году скорость ветра превышает 15 м/с, а максимальная скорость 46 м/с. Средняя высота снежного покрова равна 1,2 м; за год выпадает до 700 мм атмосферных осадков [100].

Резкие перепады температуры в течение суток и высокая относительная влажность воздуха, метели, туманы и интенсивное образование изморози являются характерными особенностями для многих районов с холодным климатом. Самые низкие температуры воздуха наблюдаются в январе – феврале.

Для оценки климатических факторов, в первую очередь совместного влияния отрицательной температуры воздуха и скорости ветра, введено понятие жесткости погоды. Жесткость погоды выражают в баллах с помощью эмпирических формул.

В метеорологии жесткость погоды принято оценивать по методу Г. Бодмана по формуле (в баллах) [100].

$$S = (1 - 0,04t) \cdot (1 + 0,272v), \quad (1.1)$$

где  $t$  – температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $v$  – скорость ветра при данной температуре  $t$ , м/с.

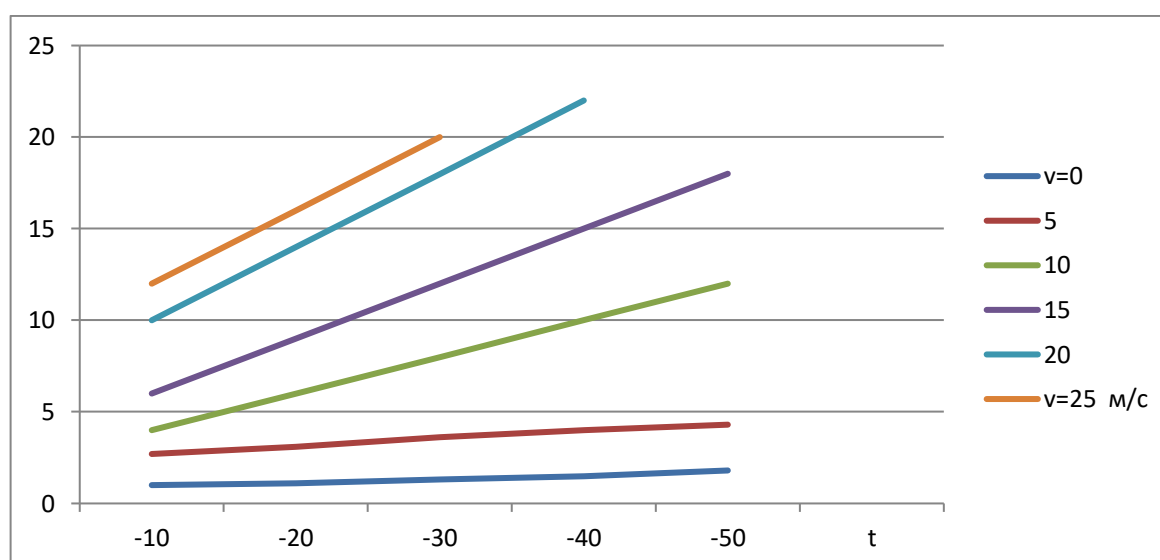


Рисунок. 1.6. – Изменение баллов жесткости климата по формуле Г. Бодмана.

На рис. 1.6. показано изменение среднегодовых баллов жесткости по Г. Бодману для северных районов республики Тыва. Балл, определенный по формуле, служит показателем суровости климата в части его воздействия на человека или растение, но не на технику.

Для оценки жесткости погоды (в баллах) распространена эмпирическая формула Клюкина:

$$Ж = T + 2B, \quad (1.2)$$

где  $T$  – температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$  (без учета знака);  $B$  – скорость ветра при данной температуре, м/с.



Приведенная формула построена по тому же принципу, что и формула Бодмана, и поэтому также не может быть использована для объективной оценки влияния жесткости климата на технику, поскольку не учтены колебания температур и скорости ветра в течение суток, влажность воздуха и ряд других факторов.

Техническую жесткость холодного климата П.И. Кох предлагает определять по следующей формуле:

$$S_T = (t_{min} + t_{cp}) \cdot (1 + 0,05 \cdot v) \cdot (1 + 0,02 \cdot \sigma) \cdot \varphi, \quad (1.3)$$

где  $t_{min}$  – минимальная из возможных температур воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{cp}$  – среднемесячная температура воздуха самого холодного месяца,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $v$  – средняя скорость ветра за три наиболее холодных месяца, м/с;  $\sigma$  – наибольшее рассеяние суточной температуры в течение наиболее холодного месяца,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\varphi$  – относительная влажность воздуха самого холодного месяца в долях единицы.

Баллы, вычисленные по этой формуле, по мнению П.И. Коха, могут служить оценкой влияния жесткости климата на эксплуатацию машин.

Климатические условия влияют на производительность труда в строительстве, отражаются на работоспособности персонала, обслуживающего технику, приводят к сокращению продолжительности рабочего дня или к полному прекращению работ [9]. На основе обработки многолетних метеорологических данных для конкретных северных районов разработаны нормативы уменьшения времени работы машин из-за климатических условий. Эти нормативы часто отличаются от требований технических паспортов машин и определяют граничные условия температуры воздуха и скорости ветра, при которых полностью запрещена работа [100].

В таблице 1.3. приведены условия эксплуатации строительных машин в г. Кызыле.



Таблица 1.3. – Возможность эксплуатации строительных машин в г. Кызыле при видимости не менее 20 м

Условия	Портальные краны всех типов	Гусеничные стреловые краны	Экскаваторы	Автомобильные краны
Скорость ветра на высоте грузовой стрелы, м/с не более	18	-	Независимо от ветра	-
Температура, °С, не ниже	-40	-40	-40	-40

Примечание: Краны и экскаваторы с гидравлическим и пневматическим управлением должны работать при температуре не ниже  $-38^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, особенности эксплуатации строительных и дорожных машин в условиях холодного климата определены совокупностью следующих климатических факторов: продолжительностью воздействия отрицательных температур воздуха; сильными и частыми ветрами; большим перепадом температур в течение суток и года; большим снежным покровом в зимний период и заболоченным ландшафтом летом; наличием мерзлых и вечномёрзлых грунтов значительных слоев; образованием густых туманов при температуре ниже  $(-35) - (-40)^{\circ}\text{C}$ ; наличием полярной ночи, когда работы возможно только при искусственном освещении [100].

Сезонные изменения оказывают значительное воздействие на показатели использования машин и их надежность. По ряду машин (например, по бульдозерам «Четра Т-15» и ряду моделей экскаваторов) они определяют характер использования техники в различные периоды года. Статистические данные о распределении длительности безотказной работы бульдозера в течение года показан на рисунке 1.7.

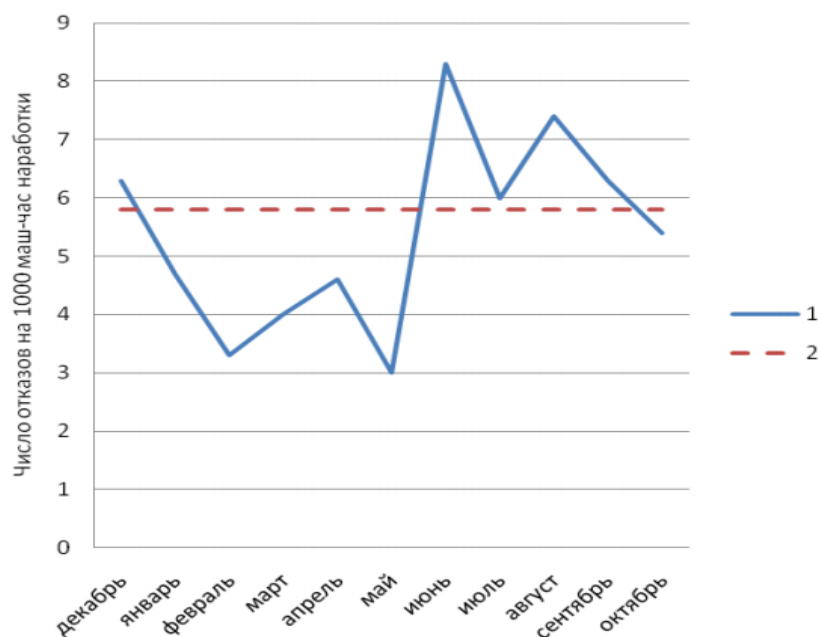


Рисунок 1.7. – Распределение интенсивности отказов бульдозеров в течение календарного года  
I – эмпирическая линия; II – теоретическая линия

Почти по всей территории Республики Тыва температуры ниже  $+5^{\circ}\text{C}$  наблюдаются в течение нескольких месяцев в году. Поэтому работа НТТМ строительных машин в зимних условиях, при низких температурах (ниже  $-10$ – $15^{\circ}\text{C}$ ) является очень распространённым явлением.

Низкие температуры являются причиной появления следующих основных особенностей в эксплуатации машин:

- повышение скорости изнашивания деталей машин и уменьшение их надежности;
- затруднение запуска двигателя и машины в целом;
- повышение расхода эксплуатационных материалов;
- ухудшение работы системы охлаждения и электрооборудования двигателей;
- ухудшение условий управления машинами и их перемещения;
- усложнение разработки грунтов и переработки строительных материалов.

При низких температурах *надежность машин* резко снижается, интенсивность изнашивания возрастаете 3-5, а иногда и в 10 раз, простои машин из-за неисправностей увеличиваются в 2-3 раза. Необходимо отметить, что при

низких температурах отказывают, в основном, те же узлы, что и в нормальных условиях, только интенсивность отказов оказывается на 25-30% большей [100].

### 1.3. Анализ практики проведения ТО и Р наземных транспортно-технологических машин в исследуемых условиях

За последние годы в строительстве республики Тыва было проведено немало организационно-технических мероприятий, направленных на дальнейшее повышение уровня механизации и улучшение использования техники. Анализируя методы проведения ремонта НТТМ можно выделить два главных метода:

1. Первый – индивидуальный метод – характерен для ремонтно-механических мастерских строительных организаций;
2. Второй – обезличенный, применяющийся в ремонтно-механических заводах при массовом ремонте однотипной техники.

Получают все большее распространение агрегатно-узловой метод и метод замены ремонтных комплектов.

Наибольший интерес в организационном плане представляет техническое обслуживание строительных машин. В таблице 1.4. показано большое разнообразие проведения технического обслуживания НТТМ.

Таблица 1.4. – Классификация видов технического обслуживания НТТМ

Техническое обслуживание			
Мобильности обслуживаемых машин	Метод проведения	Способ привлечения средств ТО	Принцип комплектования бригад ТО
1. самоходные пневмоколесные 2. не мобильные	1. индивидуальное 2. неobjектное 3. групповое	1. стандартное 2. планово-предупредительное 3. заявочное	1. предметный 2. Функциональный
Частота	Мобильность средств ТО		Организационный признак
1. постоянное (ежесменное) ТО 2. периодическое 3. случайное	1. передвижные 2. стационарные		1. индивидуальное (силами экипажа) 2. специализированное (бригадой по ТО) 3. специализированное с привлечением экипажа

Не вдаваясь в подробный анализ преимуществ той или иной классификации, отметим, что в последнее время в республике Тыва усиливается интерес к централизованному техническому обслуживанию (ЦТО). ЦТО предусматривает высококачественное поведение условиях (что немаловажно для условий рассредоточенного строительства) штатных операций по ТО специальным передвижным комплексом. Внедрение данного метода сдерживается нехваткой передвижных станций по ТО, мойке машин и маслозаправочных станций.

Рассмотрим достоинства и недостатки трех организационных форм ТО, наиболее часто встречающихся в условиях городского жилищного и гражданского строительства.

#### **1. Техническое обслуживание НТТМ силами обслуживаемого персонала.**

К достоинствам можно отнести следующее: ТО проводится в запланированные сроки, независимо от состояния и сроков ТО других машин парка;

К недостаткам относятся:

- ТО проводится, как правило, в рабочее время;
- Квалификация персонала как специалистов ТО не всегда удовлетворительная;
- ТО проводится с применением простейших средств;
- Полнота информации о техническом состоянии машины зависит от квалификации машинистов.

Таким образом, ТО в целом невысокого качества и занимает часть фонда рабочего времени машины и механизаторов.

#### **2. Техническое обслуживание силами специализированной бригады с привлечением экипажа машины.**

Достоинства:

- ТО проводится с применением самых разнообразных средств;

- Полная информация о состоянии машин, получаемая как от обслуживающего персонала, так и с помощью средств диагностики;
- Высококвалифицированное проведение операций по ТО;
- Сокращение до минимума времени на проведение ТО;
- Наиболее сложные операции по ТО проводятся квалифицированными специалистами, а простые могут проводиться механизаторами.

Недостатки:

- Необходимость увязки плана работы по ТО с работой парка машин;
- Количество специалистов высокой квалификации по техническому обслуживанию и средств ТО должно быть достаточным для выполнения объема по всему парку обслуживаемых машин.

### **3. Техническое обслуживание силами специализированной бригады.**

Такая форма ТО широко распространена во многих отраслях промышленности, внедрена в некоторых строительных организациях.

Достоинства:

- Высокая культура ТО;
- Квалифицированный мелкий ремонт;
- Проведение ТО в нерабочее время.

Недостатки:

- Необходимость разработки графика работы специализированной бригады, увязанного с работой обслуживаемых машин;
- Специалисты высокой квалификации часто проделывают большой объем неквалифицированных работ.

#### **1.4. Анализ теоретических исследований, отечественного и зарубежного опыта по вопросам организации ТО и ремонта машин**

В каждой научной работе, посвященной к вопросу методика оценки эффективности технической эксплуатации, предлагается свой метод определения

оптимальных режимов проведения ТО и ремонтов. Целью всех этих методов является оптимизация времени постановки машины в ТО и ремонт, определение требуемых объемов работ для предотвращения преждевременного выхода из строя машины на объекте, а также сведение к минимуму всех затрат, связанных с ее эксплуатацией [47].

Рассматривая методы определения оптимальных режимов проведения ТО и ремонтов необходимо отметить работы В.И. Баловнева, М.М. Болбаса, Д.И. Тонкаля, А.М. Шейнина, Б.С. Иванова, Е.С. Кузнецова, С.К. Полянского, В.А. Набоких, Д.П. Волкова и С.Н. Николаева, Р.А. Макарова, В.М. Михлина, А.Н. Максименко, С.Е. Канторера, Р.Н. Колегаева, Р.М. Петухова и других авторов [4,7,25,26,41,44,45,60,62,126 и др.]

**А.Н. Максименко** предлагает методику планирования технической эксплуатации строительно-дорожных машин (СДМ) с учетом процесса старения и диагностирования [47].

**Е.О. Степаненко** предложил корректировать периодичность в зависимости от интенсивности эксплуатации, характеризуемой среднегодовым пробегом. В расчет определения периодичности он вводит поправочный коэффициент темпа изнашивания в зависимости от среднегодового пробега.

**Б.С. Иванов** производит оптимизацию на основе анализа функции стоимости ТО. В качестве основы для расчетов предлагается использовать статистическую информацию о техническом состоянии машин, производя расчеты с использованием метода Кифера-Джонсона (Фибоначиев план). Учет большого количества статистической информации является существенным недостатком применения данной методики для многих организаций, эксплуатирующих машины. Данный недостаток заключается в том, что статистическая информация должна быть собрана за довольно большой промежуток времени и подробно учитывать работоспособность машин.

С учетом анализа экономических факторов эксплуатации и срока службы СДМ предлагают находить периодичность ремонтных работ С. Е. Канторер, Р.Н. Колегаев и Р. М. Петухов [47].

Учет влияния условий эксплуатации является главным параметром определения периодичности в работе **Д.П. Волкова** и **С.Н. Николаева**. В качестве критериев корректировки они предлагают использовать поправочные коэффициенты, учитывающие природно-климатические условия, вид работ и различия между эксплуатационными показателями новых и капитально отремонтированных машин.

**М.М. Болбас** при планировании ТО и ремонтов предлагает проводить корректировку эталонных нормативов, используя ряд коэффициентов в зависимости от условий эксплуатации, модификации подвижного состава и организации его работы, природно-климатических условий, пробега с начала эксплуатации и количества транспортных средств в эксплуатирующей организации [47].

**В.А. Набоких** предлагает корректировать периодичность ТО-1 и ТО- 2 с учетом условий эксплуатации и природно-климатических зон через соответствующие коэффициенты [47].

К настоящему времени имеется большое количество разработок, касающихся вопросов повышения эффективности использования техники, диагностики ТО и ремонта оборудования, которые можно условно разбить на 3 группы:

1. Работы, посвященные повышению эффективности использования техники;
2. Работы по влиянию низких температур окружающей среды на периодичность ТО и Р.
3. Работы, связанные с организацией технической диагностики, ТО и Р.

Большой вклад в разработку повышения эффективности использования техники внесли такие видные ученые как В.В. Кутузов, В.И. Баловнев, М.М. Болбас, А.В. Вавилов, Д.П. Великанов, В.М. Власов, Д.П. Волков, Д.В. Волков, П.Н. Волков, Н.Г. Гаркави, Н.Г. Домбровский, Б.Г. Ким, Ф.Ю. Керимов, Б.С. Клейнер, Г.В. Крамаренко, Р. В. Кугель, Е.М. Кудрявцев, Е.С. Кузнецов, Е.С. Локшин, И.А. Луйк, А.Н. Максименко, В.С. Малкин, В.С. Миленский, В.М. Михлин, С.Н. Николаев, А.Н. Островцев, В.Б. Пермяков, С.К. Полянский, В.Е.

Ровках, С.В. Репин, В.К. Руднев, И.А. Ушаков, Б.Ф. Хазов, А.М. Харазов, А.М. Шейнин и другие [44,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89]. Из иностранных авторов можно выделить A. S. Dhillon, Heinz P. Bloch и Fred K. Geitner, Bruce Hawkins и Timothy C. Kister Wallace R. Blischke и D. N. Prabhakar Murthy, Lindley Higgins и Keith Mobley, Anthony Kelly и многих других.

Вопросами по влиянию низких температур окружающей среды на периодичность ТО и Р на НТТМ изучены работы О.А. Чооду, А.В. Колунин, И.О. Фролов, Н.В. Дорошенко, Я.В. Васильев, Н.Ю. Клиндух, Р.А. Мартюков, В.А. Зорин [113,116,117 и др.]. Основываясь на работы В.А. Зорина, рассмотрены современные тенденции развития НТТМ и факторы, определяющие их работоспособность в эксплуатации, а также вопросы эксплуатации НТТМ в условиях холодного климата.

Вопросами **технической диагностики машин** как составной части технической эксплуатации машин и механизмов занимались: И.А. Биргер, А.П. Болдин, Н.Я. Говорущенко, А.Н. Карташевич, Г.В. Крамаренко, Е.С. Кузнецов, Р.А. Макаров, С.М. Мороз, А.В. Соколов, А. М. Харазов, Р.Шадюль и многие другие [8,13,22,33,36,37,63,105].

Во многих работах, посвященных обновлению режимов ТО, применяются в качестве инструмента исследования различные разделы теории вероятности – теория надежности, теория массового обслуживания, теория расписаний, теория восстановления.

Однако, почти все разработки проведены применительно к условиям промышленности, транспорта, связи и могут быть для условий строительного производства лишь частично: здесь можно необходимо учет не только климатических условий, но, и, например, для землеройных машин, состояния грунта и т.п.

**Д.В. Волков** и **С.Н. Николаев** предлагают определить периодичность ТО по формуле:

$$T_3 = T_H \cdot K_{ТО}^3 \cdot K_{ТО}^K, \quad (1.4)$$



где  $T_n$  – нормативная периодичность ТО;  $K_{ТО}^3$  – коэффициент, зависящий от зоны эксплуатации;  $K_{ТО}^k$  – коэффициент, зависящий от количества проведенных капитальных ремонтов;  $K_{ТО}^k$  после первого капитального ремонта равен 0,8.

Как видно из формулы, она не учитывает динамики изменения технического состояния машины. Техническое состояние машины делится как бы на два периода: до первого капитального ремонта и после. Между тем, периодичность ТО машин необходимо рассматривать не с детерминистских позиций, а с учетом вероятностного характера изменений технического состояния машин.

Ряд авторов рассматривает проблему ТО и ремонта с позицией потребителя. В первую очередь, к ним относятся работы зарубежных авторов и ряда отечественных ученых. Характерной особенностью этих работ является разработка вопросов ТО и ремонтов с привлечением математического аппарата, освещение различных вопросов проблемы, применимость результатов работ к определенным условиям. Необходимо заметить, что разработки в области организации и планирования ТО НТТМ, прогнозирования их отказов значительно отстают от аналогичных работ, в проводимых в промышленности, связи, в точном машиностроении, радиоэлектронике и сельскохозяйственном производстве.

Отдельные авторы рассматривают вопросы ремонтной политики организаций без учета ряда важных факторов. Так, например, Г.Н. Платонов считает, что ремонт экономически оправдан, если стоимость недоиспользованного ресурса заменяемых элементов меньше затрат, вызванных отказами этих элементов во время функционирования. Эта точка зрения учитывает эффективности профилактических мероприятий, поскольку средства могут быть вложены не только на замену деталей или на возмещение ущерба от отказа, но и на улучшение контрольно-профилактических мер или с большей пользой на другое оборудование, работающее в комплекте с первым.

Во многих работах, посвященных обновлению режимов ТО, применяются в качестве инструмента исследования различные разделы теории вероятности –

теория надежности, теория массового обслуживания, теория расписаний, теория восстановления.

Однако, почти все разработки проведены применительно к условиям промышленности, транспорта, связи и могут быть применимы для условий строительного производства лишь частично: здесь необходимо учет не только климатических условий, но, и например, для землеройных машин, состояния грунта и т.п.

Некоторые рассматривают проблему ТО с точки зрения завода-изготовителя или в свете ремонтпригодности данного оборудования. При этом ТО как вид работ стремятся свести до минимума путем решения чисто технических задач по уменьшению объемов работ по ТО во время эксплуатации.

Канторер С.Е., Зельцер Р.Я. и другие ученые рассматривают целесообразность проведения ремонтных воздействий в зависимости от возраста машин. Они учитывают в основном экономические факторы такие как себестоимость машино-смены, удельные приведенные затраты и т.д.

Исследуя конкретные условия ТО и ремонта НТТМ ряд авторов определяют различные эмпирические зависимости по видам машин (например, экскаваторы, бульдозеры и т.п.). Это верно не для всех видов машин.

Проведенный нами анализ показал значительные расхождения как по характеру, так и по количественным показателям для многих параметров при сравнении.

Значительный интерес представляют работы, выполненные Луйком и его учениками.

Луйк И.А. в своих работах ставит важную цель – разработку мероприятий по ТЭ и ремонтам парка СДМ. В одной из работ Луйк И.А. предлагает разработать «Методику определения оптимального межремонтного периода комплекта машин в зависимости от межремонтных периодов машин, входящих в комплект». На мой взгляд подобный подход правомерен только в том случае, когда комплекты машин формируются окончательно для совместной работы на длительное время. Кроме того, что для одновременной постановки на ТО или

ремонт крупного комплекта машин требуются большие ремонтные и профилактические комплекты, т.е. необходимо иметь ремонтный персонал и ремонтные средства, рассчитанные для случая максимальной нагрузки. В противном случае, будет иметь место значительный простой машин в ожидании проведения над ними ремонтно-профилактических мероприятий.

В целом же труды Луйка И.А. являются основополагающими работами при решении многих вопросов ремонтной политики.

В своих работах Кузнецов Е.С. рассматривает несколько возможных методов определения оптимальной периодичности ТО автомобилей:

1. Методом аналогий и уточнений;
2. По изменению внешнего вида узла, механизма, соединения, материала;
3. По допустимому значению и закономерности изменения параметра, характеризующего техническое состояние;
4. По допустимому уровню безотказности;
5. Технико-экономический метод [47];
6. Экономико-вероятностный метод.

Для каждого из перечисленных методов определены условия и область наиболее эффективного применения, однако каждый из них обладает определенными недостатками. Так, метод прогнозирования по допустимому значению параметров требует для своей реализации большего статистического материала по каждому элементу, чтобы судить о ТС машины в целом по комплексу наиболее важных параметров. Осуществить практически это условие для НТТМ очень тяжело.

Шейнин А.М. рассматривая вопросы оптимизации периодичности ТО дорожных машин увязывает ее только со стоимостью ТО и с расходом запасных частей.

Волков Д.В. и Николаев С.Н. предлагают определить периодичность ТО по формуле:

$$T_3 = T_n \cdot K_{TO}^3 \cdot K_{TO}^k, \quad (1.5)$$

где  $T_n$  – нормативная периодичность ТО;  $K_{TO}^3$  – коэффициент, зависящий от зоны эксплуатации;  $K_{TO}^k$  – коэффициент, зависящий от количества проведенных капитальных ремонтов.

Зона эксплуатации: субтропики, пустыня, крайний Север.

Как видно из формулы, она не учитывает динамики измерения ТС машин. ТС машин делится как бы на два периода: до первого КР и после. Между тем, периодичность ТО машин необходимо рассматривать не с детерминистских позиций, а с учетом вероятностного характера изменений ТС машин.

Имеются и другие работы, посвященные планированию ТО и внеплановых ремонтов парка НТТМ с более общих позиций, при этом ряд авторов стараются решить проблему с учетом народно-хозяйственных интересов.

Особую группу авторов, на мой взгляд, составляют те, чьи работы имеют большую практическую ценность, в настоящий момент в условиях внедрения методов экономико-математического моделирования, применения ЭВМ, в условиях функционирования автоматизированных систем управления.

Решению задач определению оптимальной политики ТО посвящены работы ряда зарубежных авторов Р. Барлоу, Ф. Прошана, У. Смита и других авторов. Основным критерием оптимальности у данных авторов принят показатель «затраты» и «эффективность». У ряда отечественных и зарубежных авторов критерием оптимальности систем ТО и ремонтов принят показатель технической готовности работы машины или парка оборудования. Этот критерий не отражает затрат на восстановление техники.

Имеются и другие работы, посвященные планированию ТО и внеплановых ремонтов парка оборудования с более общих позиций, при этом ряд авторов стараются решить проблему с учетом народнохозяйственных интересов. Анализ вышеперечисленных работ показывает, что в основном, при исследовании динамики изменения технического состояния техники и её агрегатов в процессе ТЭ, как правило, применяются непрерывные формы функциональных зависимостей. Это позволяет при исследовании процессов ТЭ использовать

классический аппарат математического моделирования и анализа, основанный на применении методов интегрирования и дифференцирования непрерывных функций. При этом, нередко, использование для анализа показателей ТЭ классических методов, дифференцирования и интегрирования, может быть не всегда оправданным. В практике применения практических расчётов, связанных с оценкой, контролем, планирования и управления показателями ТЭ машинотракторного парка НТТМ, может быть использована дискретная форма представления функциональных показателей. Дискретная модель может в большей степени соответствует условиям работы НТТМ, так как дискретная схема применяется при интенсивной эксплуатации техники в условиях, которые превышают установленные требования к надежности для заданных условий эксплуатации, что соответствует нагрузкам на НТТМ.

### **1.5. Результаты по первой главе**

Анализ эксплуатации НТТМ в строительных организациях Республики Тыва показал весьма низкую эффективность использования техники. Структура парка машин в строительных организациях различна и почти полностью изношенный парк техники.

Исследование проведенная в дорожно-строительных организациях Республики Тыва установил, что несовершенство СТЭ проявляется в: нарушении периодичности и полноты технических воздействий; низком качестве мероприятий по обеспечению работоспособности строительных машин; неразвитости средств контроля работоспособности; низком уровне материально-технического обеспечения [121].

Система эксплуатации ДСМ в республике несовершенна и местами вообще не соблюдается, нет четкой организации эксплуатационных работ. Каждая организация проводит эксплуатацию техники по-своему, большинство организаций не доукомплектованы оборудованием и специалистами по данному направлению, а техника на 85% старая.

Работы по ТО и ремонту строительных машин все еще имеет низкий уровень механизации, что увеличивает трудоемкость работ ТО и Р.

Так как НТТМ используют в основном в теплое время сезона (весной, летом, осенью), ТО и Р машин можно провести зимой во время простоя, когда спрос на технику минимален. Поскольку, климатическое условие Тувы не позволяет выполнение строительных работ зимой.

Качество эксплуатации низка, из-за недоучетов приспособленности техники к природно-климатическим факторам республики. Также из-за несовершенства систем эксплуатации техники.

Представленные в главе сведения свидетельствуют о высокой степени изношенности парков машин дорожно-строительной отрасли. Из-за отсутствия квалифицированного ремонтного персонала, оснащенной ремонтной базы, необходимого технологического оборудования машины простаивают в ремонте больше положенного времени. При этом качество проводимых технических мероприятий очень низкое [52].

Анализируя эти данные можно сделать вывод, что в Республике Тыва, как и в других проблемных республиках РФ присутствуют признаки неразвитости экономики. Экономика Республики Тыва существует за счет трансфертов субсидий из федерального бюджета РФ, который и оплачивает рост нерациональных расходов [50]. Низкий экономический потенциал Республики Тыва обуславливает очень высокую зависимость от трансфертов из национальной экономики, их доля составила более 60 % доходов консолидированного бюджета республики. Это самые высокие показатели среди регионов СФО [82].

Чтобы решить указанные проблемы и реализовать актуальную программу действий, представленную в постановлении Правительства Республики Тыва «Об утверждении Стратегии развития топливно-энергетического комплекса Республики Тыва на период до 2030 года», направленную на преодоление кризисного состояния необходимо повышение эффективности эксплуатации комплекса НТТМ, задача поддержания НТТМ в работоспособном состоянии является одной из наиболее актуальных.

Отметим, что вероятность безотказной работы напрямую зависит от времени в сочетании с внешними факторами, такими как рельеф местности,

абсолютная высота. Эти факторы можно отнести к катализаторам всех рабочих процессов в технике в целом.

Все свойства надежности техники и оборудования, заложенные при конструировании и производстве, могут быть реализованы при разработке и внедрении рациональных методов эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

Современные условия требуют от техники все большую надежность, что обусловлено прогрессом — автоматизацией и роботизацией многих процессов, что требует еще большего внимания к инженерным системам.

Одним из решений проблем, связанных с надежностью техники, является внедрение системы, которая учитывала бы особенности современных инженерных систем и опережала бы развитие техники в разы. Требования к такой системе примерно можно представить так:

- непрерывный контроль состояния узла, механизма, системы;
- возможность удаленного или автоматизированного контроля над системой;
- возможность предсказания работоспособности;
- удаленное управление;
- контроль количества запасных частей;

## **ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА**

### **2.1. Влияния износа на эксплуатационные свойства наземных транспортно- технологических машин в процессе эксплуатации**

Своевременность выполнения технического обслуживания весьма важна, так как износ деталей, помимо ухудшения эксплуатационных характеристик машины, ведет также к уменьшению их эксплуатационной надежности. Машина начинает работать с перебоями – это снижает коэффициент ее использования как в течение смены, так и в течение более длительных периодов (месяц, год).

Важно вовремя выявлять и устранять результаты износа, не допуская их развития [102].

В наиболее благоприятных условиях в этом отношении, находятся рабочие органы (дробящие плиты, отвалы автогрейдеров и бульдозеров, ковши экскаваторов), результаты изнашивания которых можно немедленно обнаружить визуально. Износ некоторых деталей можно определить замером зазоров, усилий на рычагах и приводах, что легко осуществить путем несложных замеров. Определить износ деталей, невидимых в рабочем состоянии машины, значительно труднее. Здесь большую роль играют методы диагностики появляющихся износов по косвенным признакам, к которым относятся: повышение температуры деталей (главным образом подшипников); состав отработавших газов; появление ненормальных шумов и стуков, которые либо слышны непосредственно, либо прослушиваются при помощи специальных устройств и т.п. Наличие износа может быть также установлено по характеру загрязнения смазки.

Для возможности правильной разработки системы этих мероприятий, необходимо знать закономерности изнашивания деталей машин в зависимости от различных факторов. Эти вопросы рассматриваются в теории износа, которая,



таким образом, является первым теоретическим положением, на котором основывается система технического обслуживания машин [102].

В процессе работы машины происходит изнашивание ее сопряженных деталей, вследствие действия сил внешнего трения, а также других факторов, возникающих при взаимодействии деталей с внешней средой (например, при окислении поверхностных слоев металла кислородом воздуха, взаимодействием рабочих органов с обрабатываемой средой и т.п.).

В зависимости от характера относительного движения сопряженных деталей различают три вида внешнего трения: трение скольжения, трение качения и трение верчения. Наибольшее изнашивание происходит при трении скольжения, поэтому в современных машинах его заменяют трением качения (например, в подшипниках). Однако такие детали как рабочие органы машины, в большинстве работают при трении скольжения.

Уменьшение трения и связанных с ним указанных выше отрицательных явлений достигается разделением трущихся поверхностей слоем смазки, вследствие чего трение между ними заменяется внутренним трением смазывающего слоя. В зависимости от полноты разделения трущихся поверхностей смазкой, различают следующие фазы трения: сухое, граничное, полусухое, полужидкостное и жидкостное. Взаимное положение трущихся поверхностей при различных фазах трения показано на рисунке 2.1.

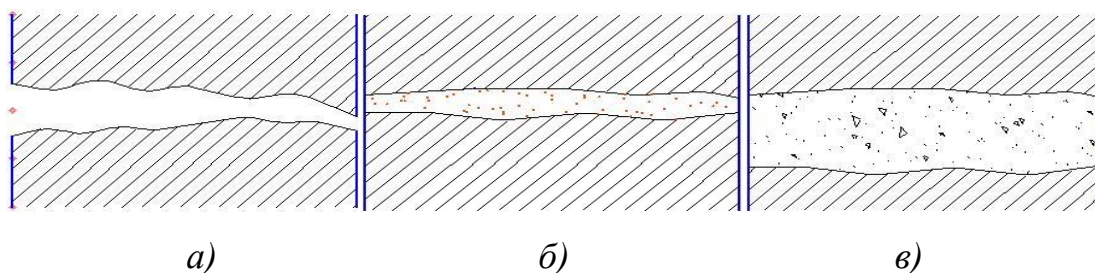


Рисунок. 2.1. – Различные фазы трения:

а – сухое; б – полужидкостное; в – жидкостное

При сухом трении (рис. 2.1, а) трущиеся поверхности не разделены слоем смазки и при движении происходит непосредственное трение одной поверхности о другую.

При полужидкостной фазе между сопряженными поверхностями находится слой масляной пленки меньший, чем высота выступов шероховатостей этих поверхностей (рис. 2.1, б).

Если обозначить через  $\delta'$  и  $\delta''$  высоты неровностей сопряженных поверхностей, то при полужидкостном трении будет иметь место неравенство [102]

$$h = \delta' + \delta'', \quad (2.1)$$

где  $h$  - толщина слоя смазки.

Значения  $\delta'$  и  $\delta''$  относятся к приработанным поверхностям.

Вследствие неполного разделения сопряженных поверхностей смазкой, части их площадей непосредственно соприкасаются и поэтому изнашиваются.

При жидкостном трении (рис. 2.1, в) трущиеся поверхности полностью разделены слоем смазки и при их взаимном движении происходит внутреннее трение в слое смазки, а изнашивание деталей отсутствует.

При жидкостном трении имеет место неравенство

$$h \geq \delta' + \delta'', \quad (2.2)$$

Из изложенного следует, что при проектировании и эксплуатации машин необходимо стремиться к тому, чтобы детали работали в условиях жидкостного трения.

Как известно из гидродинамической теории смазки жидкостное трение имеет место при соблюдении следующего соотношения между толщиной слоя смазки и рядом показателей, характеризующих вязкость смазки и некоторые конструктивные и эксплуатационные показатели сопряженных деталей [102]:

$$h = \frac{n \cdot \eta \cdot d^2}{18,36 \cdot p \cdot s \cdot c}, \quad (2.3)$$

где  $h$  – толщина слоя смазки в самом узком месте клиновидной щели, мм;  $d$  – диаметр шейки вала, мм;  $p$  – удельная нагрузка на вал, кгс/м<sup>2</sup>;  $\eta$  – абсолютная

вязкость,  $\text{кгс}\cdot\text{сек}/\text{м}^2$ ;  $n$  – число оборотов вала в минуту;  $s$  – зазор (разность диаметров подшипника и вала), мм;  $c$  – коэффициент длины подшипника ( $c = (d + l)/l$ ,  $l$  – длина подшипника, мм).

Если эта закономерность не нарушается, то детали работают в условиях жидкостного трения и изнашивания практически нет. Однако в процессе работы машины зависимость, приведенная в формуле (2.3), нарушается и тогда жидкостное трение заменяется граничным, а иногда и сухим, в результате сего происходит износ деталей.

Причинами такого нарушения могут быть: изменение числа оборотов вала, например, его уменьшение или увеличение при изменении нагрузки на рабочий орган машины; изменение удельной нагрузки на вал; изменение вязкости смазки и величины зазора вследствие износа сопряженных деталей.

Постоянное нарушение зависимости, приведенной в формуле (2.3), характерно для циклично работающих машин (экскаваторы, краны, камнедробилки и др.), в которых условия работы в течение цикла резко меняются. Так, при работе экскаватора во время операции копания возрастают удельные нагрузки и уменьшаются скорости, а при повороте на выгрузку резко падают нагрузки и увеличиваются скорости. Резкое нарушение условий жидкостного трения происходит при запуске машин после длительной остановки. При неподвижном вале, в месте его касания с подшипником в начале вращения смазки почти не будет, что, в лучшем случае, будет соответствовать условиям граничного трения. По мере увеличения числа оборотов, в пространство 3 (рис. 2.2), имеющее клиновидную форму, будет втягиваться масло, прилипающее к движущейся поверхности; между поверхностями вала и подшипника образуется масляный слой, разделяющий трущиеся поверхности и имеющий несущую способность, достаточную для того, чтобы воспринимать внешнюю нагрузку [102].

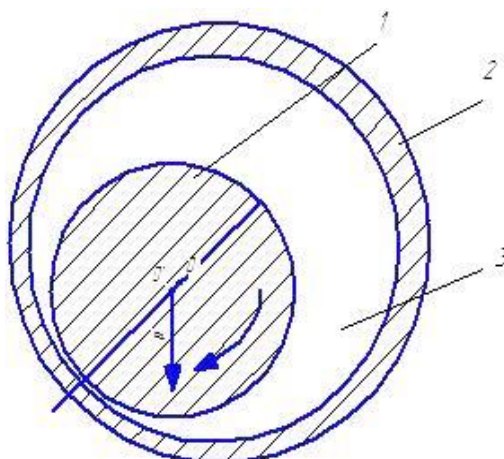


Рисунок. 2.2. – Схема образования несущей способности масляного слоя при вращении вала:  
 1 – шейка вала; 2 – втулка подшипника; 3 – клиновидное пространство; 0 – центр сечения втулки; 0' – центр сечения шейки вала.

Таким образом, при достижении валом нормального числа оборотов создаются условия жидкостного трения.

Изложенное справедливо при правильном круглом сечении вала и втулки подшипника. При неправильной их форме возможно нарушение несущей способности масляного слоя, поэтому за формой рабочих поверхностей сопряженных деталей необходимо следить при их изготовлении, а затем и при эксплуатации [102].

Величины давлений, возникающих внутри масляного слоя, различны и зависят от сопротивления вытекания масла, связанного с длиной пути его движения. Так, на краях подшипника, где путь масла до вытекания равен нулю, давление тоже равно нулю, а в поперечном сечении, проходящем через середину подшипника, оно имеет максимальное значение, что видно из рис. 2.3, где показано сечение подшипника продольной плоскостью, проходящей через ось вращения.

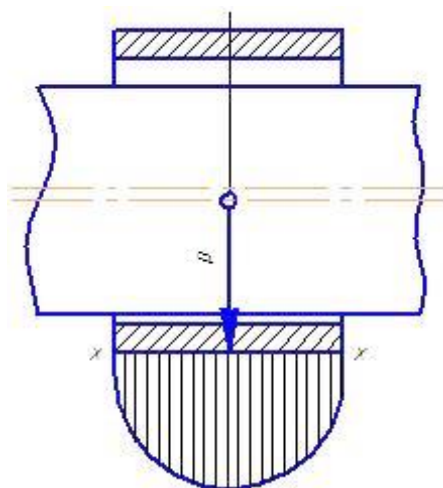


Рисунок. 2.3. – Распределение давлений внутри масляного слоя подшипника в продольном сечении:  $x-x$  – эпюра давлений внутри масляного слоя.

Давления внутри слоя смазки могут достигать больших величин, превышая в 2,5-3 раза среднее удельное давление  $p$ . Причем, чем больше  $p$  в подшипнике, тем интенсивнее нарастают величины максимальных давлений. Присутствие смазки оказывает большее влияние на характер и скорость изнашивания, чем многие другие факторы.

*Влияние на износ климатических условий и сезонности работ.* Отклонения от оптимального теплового режима и подачи загрязненной смазки, влияющие на скорость изнашивания двигателей и трансмиссий, будут особенно резко сказываться в случаях работы двигателя в условиях жаркого климата. Высокая температура воздуха будет сказываться на тепловом режиме двигателя, а запыленность его содействовать усиленному загрязнению смазки. В связи с этим необходима тщательная проверка состояния и сокращение периодичности ее замены в 1,5-2 раза [102].

Продолжительность взаимодействия сопряженных деталей зависит от времени работы машин. Хотя более продолжительное взаимодействие деталей вызывает больший их износ, необходимо стремиться к непрерывной работе машины, так как наибольший износ происходит в период ее запуска. Это прежде всего относится к деталям и узлам двигателя. Так, износ цилиндров от запусков и прогревов за нормальный период эксплуатации составляет 50% и более от общего

их износа. Это объясняется ухудшением смазки цилиндров, вследствие разжижения и смывания масла с его стенок топливом, которое, соприкасаясь с холодными стенками, быстро конденсируется.

При запуске двигателя в условиях низких температур интенсивность износа деталей шатунной группы резко возрастает. Это объясняется наличием следующих неблагоприятных условий: недостаточная для воспламенения температура рабочей смеси; возрастание вязкости смазки на стенках цилиндра, подшипниках и др.; возрастание вязкости топлива, повышение сопротивления прокручиванию вала и др.

Для облегчения процесса запуска и устранения чрезмерного износа, а также поломок, машина должна быть заблаговременно подготовлена к зимней эксплуатации [102].

Для обеспечения надежной работы машин при их эксплуатации необходимо установить, какие из рассмотренных видов изнашивания наиболее нежелательные с точки зрения снижения работоспособности машин и разработать эффективные методы борьбы с ними.

Ряд исследований показал, что в связи с проблемой надежности все виды износов могут быть разбиты на две группы: *допустимые* виды износа, характеризующиеся относительно малыми скоростями развития, и *недопустимые*, которые характеризуются аварийными процессами разрушения. В таблице 2.1. показаны переходы от допустимых видов износа к недопустимым при нарушении режимов эксплуатации машин.

Таблица 2.1. – Переходы от допустимых видов износа к недопустимым при нарушении режимов эксплуатации машин

Нормальный (допустимый) износ	Нарушения нормального режима	Интенсивный износ
-	Перегрев	Схватывание 1-го рода
-	Попадание абразива в смазку	Схватывание 2-го рода
-	Перегрузка	Абразивное разрушение
Окислительный износ	Отсутствие окислителя	Усталостное разрушение

К первой группе относится окислительный износ, а к второй – износы схватыванием 1-го и 2-го рода, абразивный износ и осповидный, характеризующиеся различными усталостными разрушениями поверхностей (питтинг). Допустимым и широко распространенным при работе машин является окислительный износ, возникающий при трении скольжения и трении качения при сухом контакте и граничной смазке [102].

Основной задачей при эксплуатации является создание таких условий, при которых не происходило бы перехода от нормальных условий трения к ненормальным, от нормальной работы к аварийной, от допустимого окислительного износа к другим видам износа, вызывающим разрушение поверхности деталей.

## 2.2. Влияние природно-климатических условий местности на расход топлива и моторных масел НТТМ

По ГОСТ каждая марка бензина делится по испаряемости на пять классов (см. таблица 2.2) в зависимости от климатического района страны [25, 73, 85]:

Таблица 2.2. – Эксплуатационные свойства классов бензинов по испаряемости [121]

Наименование свойства	Класс бензина				
	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6
Давление насыщенных паров, кПа					
Min	35	45	55	60	80
max	70	80	90	95	100
Фрикционный состав:					
Температура начала перегонки, град. С, не ниже	35	35	Не нормируется		
Пределы перегонки, град. С, не выше					
10%	75	70	65	60	55
50%	120	115	110	105	100
90%	190	185	180	170	160
Конец кипения, град. С, не выше	215				

1 – для района I с 1 апреля по 1 октября;

2 – для районов II и III с 1 апреля по 1 октября;

3 – для районов IV и V с 1 апреля по 1 октября;

4 – для районов II и III с 1 октября по 1 апреля;

5 – для районов IV и V с 1 октября по 1 апреля.

Для поддержания машин в готовности к использованию и обеспечения их работоспособности требуется проведение дополнительных мероприятий [111].

Производительность НТТМ зимний период снижается. Много времени затрачивается водителем на пуск и прогрев двигателя НТТМ в условиях хранения автомобиля на открытых площадках. В результате этого, технически исправные автомобили, выходят в линию на 1-1,5 часа позже. Низкие температуры воздуха и, связанное с ними, охлаждение агрегатов затрудняют пуск двигателей, уменьшают надежность автомобилей, ухудшают экономичность, увеличивают расход топлива, усложняют обслуживание автомобилей и их вождение [95].

Пуск двигателя при низких температурах  $-30^{\circ}\text{C}$  окружающего воздуха затрудняется в результате:

- увеличение вязкости масел;
- ухудшение условий испаряемости автомобильных бензинов и образования горючих и рабочих смесей;
- ухудшение прокачиваемости дизельных топлив по трубопроводам и через фильтры топливной системы;
- снижение разрядных и зарядных характеристик аккумуляторных батарей.

С понижением температуры ниже  $-5^{\circ}\text{C}$  вязкость незагущенных масел резко повышается. Незагущенные масла не содержат специальных полимерных загущающих присадок. Загущенными называются масла, при производстве которых в масловязкую масляную основу добавляют специальные полимерные высоковязкие присадки, обеспечивающие повышение вязкости масляной основы (ее загущение) до требуемого уровня при  $100^{\circ}\text{C}$ . В маркировках этих масел указывается прописная или строчная буква «з» (АСЗп-6, АСЗп-10, ДВ АСЗп-ЮВ, МТЗ-10п, ТСз-9ГИП и др.). Минимальная температура пуска современных двигателей на незагущенных маслах по условиям прокачиваемости коленчатого



вала находится в пределах от  $-15$  до  $-20^{\circ}\text{C}$  для карбюраторных двигателей и от  $-5$  до  $-10^{\circ}\text{C}$  для дизелей.

При наиболее низких температурах надежный пуск двигателей осуществляется только после предварительной подготовки и применения загущенных масел, вязкость которых при тех же температурных условиях в 6-10 раз меньше вязкости незагущенных масел.

Удовлетворительные условия образования рабочей смеси в цилиндрах карбюраторного двигателя обеспечивается при температуре воздуха от  $-10$  до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Зимние сорта бензинов обеспечивает надежный пуск холодных двигателей по условиям смесеобразования при температуре окружающего воздуха от  $-25$  до  $-30^{\circ}\text{C}$ , в то время как летние – только от  $-15$  до  $-25^{\circ}\text{C}$  (в зависимости от сорта масла и состояния аккумуляторных батарей).

В составе дизельных топлив содержатся парафиновые углеводороды, характеризующегося сравнительно высокой температурой плавления. При понижении температуры воздуха ниже  $-10^{\circ}\text{C}$  они выпадают из топлива в кристаллов, вызывая помутнение топлива, а при дальнейшем охлаждении кристаллы парафинов могут образовать настолько прочную структуру, что топливо теряет текучесть. Прокачиваемость дизельного топлива ухудшается, что может стать причиной прекращения его подачи, особенно на участке между топливным баком и топливоподкачивающим насосом, где оно подается только под воздействием разрежения, создаваемого топливоподкачивающим насосом. Поэтому минимальная температура пуска современных дизелей при работе на летнем дизельном топливе по условиям его воспламеняемости и прокачиваемости составляет  $-10^{\circ}\text{C}$ . При более низких температурах необходимо применять зимнее дизельное топливо и вспомогательные средства («термостарт», пусковые жидкости, предпусковые подогреватели и др.) [95].

Работоспособность аккумуляторных батарей в условиях низких температур снижается:

- при температуре электролита от  $-15$  до  $-20^{\circ}\text{C}$  наблюдается заметное ухудшение разрядных, и особенно зарядных, характеристик аккумуляторных батарей;
- при температуре электролита от  $-20$  до  $-30^{\circ}\text{C}$  происходит частичная потеря работоспособности аккумуляторных батарей;
- при температуре электролита ниже  $-30^{\circ}\text{C}$  аккумуляторные батареи не обеспечивают надежного пуска двигателя и не способны принимать заряд.

Поэтому низкая плотность электролита в зимнее время ведет к его замерзанию, стремительной потере емкости аккумулятора, а иногда даже к физическим деформациям и появлению трещин. Следует отметить, что от плотности электролита зависит температура его замерзания сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3. – Температура замерзания электролита различной плотности

Плотность электролита $\text{г/см}^3$ , при температуре $-25^{\circ}\text{C}$	Температура замерзания, $^{\circ}\text{C}$	Плотность электролита $\text{г/см}^3$ , при температуре $-30^{\circ}\text{C}$	Температура замерзания, $^{\circ}\text{C}$
1,09	-7	1,20	-28
1,12	-10	1,21	-34
1,14	-14	1,24	-50
1,16	-18	1,26	-58
1,18	-22	1,29	-66

При эксплуатации НТТМ с дизельными двигателями в холодном макроклиматическом районе целесообразно использовать аккумуляторные батареи 6СТ-190ТРН с внутренним электрообогревом, который обеспечивает их работоспособность при температуре до  $-50^{\circ}\text{C}$ . Разъем для подключения электрообогрева батареи размещен на передней стенке батареи со стороны выводов. Для питания нагревательных элементов должен использоваться внешний источник переменного или постоянного тока напряжением 24-26В при подготовке двигателя к пуску и 12-15В при длительного подогрева электролита на стоянке.

Работоспособность агрегатов трансмиссии при низких температурах снижается. Она характеризуется возможностью трогания машины с места после ее длительной стоянки вне отапливаемого помещения, движения на высших передачах после трогания с места и в основном зависит от вязкости масел в картерах агрегатов трансмиссии, которая может быть настолько большой, что мощности двигателя будет недостаточно для проворачивания валов в редукторах агрегатов трансмиссии. Нормальное трогание машины с места обеспечивается при заправке агрегатов незагущенными трансмиссионными маслами SAE 10w при  $-25^{\circ}\text{C}$ , SAE 5w при  $-30^{\circ}\text{C}$ , SAE 10w-30/10w-40 при  $-40^{\circ}\text{C}$ , а загущенными SAE 0w-30/0w-40 при  $-55^{\circ}\text{C}$ .

Температурная область применения трансмиссионных масел представлена в таблицу 2.4.

Таблица 2.4. – Температурная область применения трансмиссионных масел ГОСТ 17479.1-85

Марка масла	Температурная область применения
SAE 10w	Всесезонно до $-25^{\circ}\text{C}$
SAE 5w	Всесезонно до $-30^{\circ}\text{C}$
SAE 10w-30/10w-40	Зимнее до $-40^{\circ}\text{C}$ для средней климатической зоны и всесезонно для северных
SAE 0w-30/0w-40	Зимнее до $-55^{\circ}\text{C}$ для суровых климатических зон

Указанные масла в агрегатах трансмиссии машин обеспечивают:

- возможность трогания с места при работе на масле SAE 10w-30/10w-40 при температуре  $-47^{\circ}\text{C}$ , ТСЗ-9ГИП до  $-60^{\circ}\text{C}$ , АСЗп-10 до  $-52^{\circ}\text{C}$ , ДВ АСЗп-ЮВ до  $-47^{\circ}\text{C}$  и МТЗ-Юп до  $-55^{\circ}\text{C}$ ;
- возможность движения НТТМ на высших передачах при температуре воздуха  $-40^{\circ}\text{C}$  через 3-5 мин после трогания с места;
- более высокие коэффициенты полезного действия трансмиссии (на 10-20% по сравнению с незагущенными маслами при температурах ниже  $-30^{\circ}\text{C}$ ), экономию горючего (5% более);

- высокую подвижность машин (автомобили при температуре воздуха  $-50^{\circ}\text{C}$  могут развивать скорости, равные 90% номинальной);
- возможность заправки и дозаправки агрегатов трансмиссии маслом при температурах воздуха от  $-30$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Нормальная работа тормозных систем с гидравлическим и пневмогидравлическим приводами во многом зависит от марки используемой тормозной жидкости. Предел работоспособности гидравлического и пневмогидравлического тормозных приводов наступает при максимально допустимой вязкости тормозной жидкости 100 сСт. Такую вязкость приобретают тормозные жидкости БСК при температуре от  $-15$  до  $-20^{\circ}\text{C}$ , ГТЖ при температуре от  $-37$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ , ГТЖ-22М и «Нева» при температуре от  $-42$  до  $-45^{\circ}\text{C}$  [95].

Для обеспечения работоспособности гидравлического тормозного привода сцепления при температурах ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  разрешается добавлять в жидкость ГТЖ-22М до 18%(по массе) этилового ректифицированного или технического спирта. Все тормозные жидкости ядовиты, поэтому правила их применения объявлять водителю под расписку.

В тормозных с пневматическим приводом при низких температурах воздуха ухудшается герметичность тормозной системы, повышается жесткость диафрагм, происходит скопление конденсата в воздушных цилиндрах, пневмоцилиндрах и фильтрах, в результате чего возможно его замерзание и образование ледяных пробок, которые могут вызвать отказ тормозов.

Работоспособность рулевого управления и амортизаторов ухудшается из-за увеличения вязкости гидравлических жидкостей, снижения прокачиваемости жидкостей через калиброванные отверстия, фильтрующие элементы и трубопроводы гидроусилителя, затруднения перемещения золотникового механизма и клапанов.

Для обеспечения надежной работы гидроусилителя рулевого привода при температурах до  $-40^{\circ}\text{C}$  необходимо применять масло марки Р. При температуре окружающего воздуха ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  разрешается применять масло МГЭ-10А,

обеспечивающее работоспособность гидроусилителя рулевого привода при температуре до  $-55^{\circ}\text{C}$ . В качестве дублирующего для масла марки Р на некоторых автомобилях (МАЗ-7313-1-плетевоз, Урал-4358-Евро-4) предусматривается веретенное масло АУ. Это масло можно применять всесезонно при температурах до  $-25^{\circ}\text{C}$ .

Для обеспечения надежной работы амортизаторов и подвески необходимо применять всесезонную амортизаторную жидкость АЖ-12т, нижний температурный предел работоспособности которой составляет  $-50^{\circ}\text{C}$ .

Работоспособность шин и резинотехнических деталей снижается. На пневматических шинах при длительной стоянке автомобилей возникает остаточная деформация, которая устраняется только при разогреве шин до температуры  $-10^{\circ}\text{C}$  и выше в процессе движения.

Под воздействием низких температур детали из резины теряют упругость, а на их поверхности образуются трещины. При температурах от  $-48$  до  $-50^{\circ}\text{C}$  снижается пластичность неморозостойкой резины, повышаются хрупкость и ломкость полимерных материалов [95].

На автомобильной технике, оборудованной предпусковыми жидкостными подогревателями, следует применять антифризы марок до 40 и 65. Антифриз марки 40 содержит 53% этиленгликоля и 47 % воды, температура его замерзания  $-40^{\circ}\text{C}$ . Антифриз марки 65 содержит 66% этиленгликоля и 34% воды, температура его замерзания  $-65^{\circ}\text{C}$ .

Системы охлаждения двигателей автомобилей КамАЗ, Урал-4358-Евро-4, Mercedes-Benz Actros 3341 АК на заводах-изготовителях заправляются низкотемпературной охлаждающей жидкостью Тосол А-40 (применяется при температурах до  $-40^{\circ}\text{C}$ ) или Тосол А-65 (применяется при температурах до  $-65^{\circ}\text{C}$ ). При утечке из системы охлаждения двигателя антифриза или Тосола допускается производить доливку антифриза в Тосол и наоборот при условии сохранения необходимых низкотемпературных свойств смеси.

При применении антифризов марок 40, 65 и Тосола необходимо:

- поддерживать уровень охлаждающей жидкости, указанный в инструкции по эксплуатации машин;
- не допускать попадания нефтепродуктов в антифризы, так как они вызывают значительное пенообразование, что может привести к утечке антифриза;
- при понижении уровня охлаждающей жидкости и отсутствии течи ее из системы охлаждения добавить в систему охлаждения чистую мягкую воду;
- надо заметить, что антифризы ядовиты и при попадании в организм вызывают тяжелое отравление.

Предпусковые подогреватели позволяют за 25-30 мин работы довести температуру охлаждающей жидкости в системе охлаждения до  $60^{\circ}\text{C}$  при температуре окружающего воздуха  $-40^{\circ}\text{C}$  [95].

Распределение тепла от сгорания топлива в подогревателе на полезно используемое и на потери характеризуется эффективным тепловым балансом.

Уравнение теплового баланса записывается в виде

$$Q_o = Q_{ож} + Q_m + Q_z + Q_{ост} \quad (2.4)$$

где  $Q_o$  – располагаемое тепло, ккал/ч;  $Q_{ож}$  – количество тепла на разогрев охлаждающей жидкости, ккал/ч;  $Q_m$  – количество тепла на разогрев моторного масла, ккал/ч;  $Q_z$  – количество тепла, отводимого с отработавшими газами, ккал/ч;  $Q_{ост}$  – остаточное тепло, ккал/ч.

Располагаемое тепло подсчитывается по часовому расходу топлива в подогревателе и его теплотворной способности

$$Q_o = G_T \cdot H_u, \quad (2.5)$$

где  $H_u$  – низшая теплота сгорания топлива (для дизельного топлива  $H_u = 42440$ ), кДж /кг;  $G_T$  – часовой расход топлива подогревателем, кг/ч.

Для определения количества тепла, потребного для разогрева охлаждающей жидкости (тосол А-40), необходимо знать ее количество, расход и разность температур в начале разогрева и в конце разогрева.

$$Q_{ож} = G_{ож} \cdot c_{ож} \cdot \Delta t_{ож}, \quad (2.6)$$

где  $G_{\text{ож}}$  – масса охлаждающей жидкости в системе охлаждения двигателя, кг;  $c_{\text{ож}}$  – теплоемкость охлаждающей жидкости (для тосола А-40 М  $c_{\text{ож}} = 3,2–3,8$ ), кДж/кг·град;  $\Delta t_{\text{ож}}$  – разность температур охлаждающей жидкости в начале и в конце разогрева, °С.

$$G_{\text{ож}} = \rho_{\text{ож}} \cdot V_{\text{ож}}, \quad (2.7)$$

где  $\rho_{\text{ож}}$  – плотность (для тосола А-40 М,  $\rho_{\text{ож}} = 1,065–1,085$ ), г/см<sup>3</sup>;  $V_{\text{ож}}$  – вместимость системы охлаждения двигателя с учетом котла подогревателя, л.

Количество тепла, потребного на разогрев моторного масла, определяется по формуле

$$Q_{\text{м}} = G_{\text{м}} \cdot c_{\text{м}} \cdot \Delta t_{\text{м}}, \quad (2.8)$$

где  $G_{\text{м}}$  – масса моторного масла, кг;  $c_{\text{м}}$  – теплоемкость моторного масла,  $c_{\text{м}} = 0,5$  ккал/(кг·°С);  $\Delta t_{\text{м}}$  – разность температур моторного масла в начале и в конце разогрева двигателя, °С.

В таблице 2.5 по результатам экспериментальных пусков подогревателей 14ТС-10 силовой установки с дизельным двигателем КамАЗ-740 (V8) представлены показатели продолжительности разогрева  $\tau$  до состояния готовности к пуску двигателя с учетом температур окружающего воздуха  $t_{\text{ос}}$  и исходного теплового состояния двигателя  $t_{\text{исх}}$ , а также разница в температурах исходного теплового состояния двигателя и готовности к пуску для охлаждающей жидкости  $\Delta t_{\text{ож}}$  и моторного масла  $\Delta t_{\text{м}}$  [95].

Таблица 2.5. – Разница температур охлаждающей жидкости и моторного масла в начале и конце разогрева

$t_{\text{ос}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{исх}}, ^\circ\text{C}$	$\tau$ , МИН	$\Delta t_{\text{ож}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_{\text{м}}, ^\circ\text{C}$
-2	-6	32	77	7,5
-11	-15	36	88	8,2
-18	-21	40	92	8,6

Количество тепла, отводимого с отработавшими газами, подсчитывается по разности теплосодержания (энтальпий) часовых количеств отработавших газов и свежего заряда

$$Q_{\Gamma} = G_{\Gamma} \cdot (M_2 \cdot (mc_p'')_{t_0}^{t_{\Gamma}} \cdot t_{\Gamma} - M_1 \cdot (mc_p'')_{t_0}^{t_{\kappa}} \cdot t_{\kappa}), \quad (2.9)$$

где  $G_{\Gamma}$  – часовой расход топлива подогревателем, кг/ч;  $M_2$  – количество продуктов сгорания на килограмм топлива, при  $\alpha = 1,5$  кмоль/кг;  $M_1$  – количество свежего заряда воздуха на килограмм топлива, при  $\alpha = 1,5$  кмоль/кг.

Коэффициент избытка воздуха для подогревателей подсчитывается по формуле

$$\alpha = \frac{1_H}{1_{\Gamma}}, \quad (2.10)$$

где  $1_{\Gamma}$  – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания топлива, расходуемого в течение 1ч, кг;  $1_H$  – расход воздуха подогревателем, кг/ч.

При этом

$$1_{\Gamma} = G_{\Gamma} \cdot 1_0, \quad (2.11)$$

где  $1_0$  – теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 кг топлива, кг возд/кг топл;  $G_{\Gamma}$  – часовой расход топлива подогревателем, кг/ч.

Общее количество продуктов сгорания

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2}, \quad (2.12)$$

Количество отдельных компонентов продуктов сгорания при  $\alpha = 1,5$  определяется

$$M_2 = 0,0075 + 0,063 + 0,052 + 0,594 = 0,7815 \text{ кмоль/кг.}$$

Средней теплоемкостью рабочего тела называется отношение количества теплоты, сообщаемой телу в заданном процессе, к изменению температуры при условии, что разность температур является конечной величиной. Величина теплоемкости зависит от температуры и давления тела, его физических свойств и характера процесса.

Таким образом, из уравнения теплового баланса можно определить количество остаточного тепла, которое расходуется на разогрев двигателя и потери в окружающую среду

$$Q_{\text{ост}} = Q_o - Q_{\text{ож}} - Q_m - Q_{\Gamma}, \quad (2.13)$$

Для улучшения пусковых качеств двигателей следует применять зимние сорта топлив: для карбюраторных двигателей – А-72, А-76 и АИ-93, для дизелей –



А, З, Л. В случае отсутствия дизельного арктического топлива марки А допускается применение дизельного зимнего топлива, разжиженного топливом ТС-1 на 50% при температуре до  $-40^{\circ}\text{C}$  и на 70% при температуре ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Для ускорения и повышения надежности пуска двигателей необходимо использовать загущенные масла АСЗп-6, АСЗп-10, МТЗ-Юп, ДВ АСЗп-ЮВ, ДСЗп-8. Загущенные масла благодаря меньшей вязкости при низких температурах обеспечивают по сравнению с незагущенными маслами сокращение общего времени подготовки двигателей к работе при температуре воздуха от  $-30$  до  $-50^{\circ}\text{C}$  в 1,5-2 раза, меньше износы деталей двигателей и всесезонность применения с большей периодичностью смены.

Для облегчения пуска двигателей можно применять легковоспламеняющиеся жидкости: «Арктика» для карбюраторных двигателей и «Холод Д-40» для дизелей, которые выпускаются в запаянных ампулах объемом 20 и 50 мл. Для ввода их во впускные трубопроводы двигателей используются пусковые приспособления 5ПП-40 и 6ПП-40 [87].

Таким образом, можно сделать вывод, что при условии низких температур окружающего воздуха значительно затрудняют эксплуатацию машин и относится к основным параметрам, учитываемым особенности эксплуатации парков машин, особенно в Республике Тыва.

### **2.3. Влияние климатических и географических региональных особенностей на эксплуатацию наземных транспортно-технологических машин на примере Республики Тыва**

*Местные условия* – климатические, метеорологические, географические значительно сказываются на эксплуатации машин. Это объясняется прежде всего тем, что в различных условиях свойства эксплуатационных материалов, материалов, перерабатываемых машиной (например, грунта), и даже материалов, из которых изготовлена машина, могут значительно меняться.

Все это вынуждает применять специальные меры, обеспечивающие надежную и эффективную работу машин в изменяющихся условиях [104].

Зимним считается период эксплуатации, когда температура наружного воздуха устанавливается ниже  $-3,3-10^{\circ}\text{C}$ .

Около половины территории Республики Тыва занимают районы с преобладанием отрицательных температур. Температура воздуха районов республики показаны на таблице 2.6.

Таблица 2.6. – Температура воздуха в  $^{\circ}\text{C}$

№ п/п	Название	Абсолютная высота (м)	Средняя температура			среднегодовая	Абсолютный минимум	Абсолютный максимум	Амплитуда температур	
			I	II	III					
I	г. Кызыл	28	33,7	30,5	9,6	7	4,5	58	8	06
II	Каа-Хемский район	06	34	30,7	7,6	5,2	5,6	60	9	9
III	Дзун-Хемчикский район	23	31	26	8,3	5,7	3,5	54	7	1
IV	Пий-Хемский район	62	34,9	29,4	6,9	4,2	5,9	58	6	4
VI	Бай-Тайгинский район	80	29,2	24,1	7,3	5,3	3,3	54	6	0
VII	Тоджинский район	95	28,6	25,9	4,6	1,8	5,5	59	4	3
VIII	Чеди-Хольский район	030	29,2	25,5	4,5	2,1	5,3	55	5	0
IX	Эрзинский район	101	34,9	31,2	7,8	6	5,5	59	9	8
X	Тере-Хольский район	310	29,4	25,1	4	1,4	6,1	56	4	5

В этих районах ведутся большие дорожные работы, на которых занято, примерно, 35% всех имеющихся в республике строительных и дорожных машин.

Почти по всей территории республики температуры ниже  $+5^{\circ}\text{C}$  наблюдаются в течение нескольких месяцев в году. Поэтому работа строительных машин в зимних условиях, при низких температурах (ниже  $-10-15^{\circ}\text{C}$ ) встречается весьма часто.

Низкие температуры являются причиной появления следующих основных особенностей в эксплуатации машин:

- повышение скорости изнашивания деталей машин и уменьшение их надежности;
- затруднение запуска двигателя и машины в целом;
- повышение расхода эксплуатационных материалов;
- ухудшение работы системы охлаждения и электрооборудования двигателей;
- ухудшение условий управления машинами и их перемещения;
- усложнение разработки грунтов и переработки строительных материалов.

При низких температурах *надежность машин* резко снижается, интенсивность изнашивания возрастает в 3-5, а иногда и в 10 раз, простои машин из-за неисправностей увеличиваются в 2-3 раза. Необходимо отметить, что при низких температурах отказывают, в основном, те же узлы, что и в нормальных условиях, только интенсивность отказов оказывается на 25-30% большей.

Причинами уменьшения надежности машин при низких температурах являются для двигателей: трудность их запуска, недостатки в работе систем смазки и охлаждения, а для других агрегатов – изменение свойств стали, резины и других конструкционных материалов [104].

При определенных отрицательных температурах структура стали переходит в хрупкое состояние. Это состояние определяется величиной ударной вязкости: для конструкционных сталей в прокате и поковках  $4 \text{ кгс м/см}^2$ , для литых сталей –  $2 \text{ кгс м./см}^2$ . Чем ниже температура появления указанных величин ударной вязкости, тем лучше хладнотойкость стали. По организационно-технологическим требованиям для строительных машин, и в частности землеройных, возникает необходимость работы при температурах  $-40-50^\circ\text{C}$ , следовательно эта температура и должна характеризовать уровень хладнотойкости.

Многие стали, из которых изготавливаются детали строительных машин, не отвечают требованиям хладнотойкости. Так, например, широко

распространенная кипящая сталь марки Ст. 3 кп хладноломка уже при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Особенно опасны при низких температурах концентраторы напряжений (резкие изменения диаметров деталей, отверстия с острыми краями и т.п.).

Сварка металла должна производиться в этих условиях особенно тщательно, кромки свариваемых деталей целесообразно предварительно разогревать посторонними источниками тепла. Необходимо избегать дефектов сварного шва, которые могут быть концентраторами напряжений.

Во избежание поломок вследствие хладноломкости, практикуется подогрев деталей, например, рукоятей и стрел экскаваторов. Для этого применяется нагрев наиболее нагруженных частей с помощью электронагревательных элементов.

При низких температурах становятся хрупкими сталь и чугун, из которых изготовлены пружины, картеры, головки блоков цилиндров и др. Оловянисто-свинцовые припои, как и свинцовистые заливки подшипников двигателей, разрушаются при температуре  $-45^{\circ}\text{C}$ . В результате этого могут произойти отказы подшипников [96].

Сильно изменяются с температурой и свойства резины, которая теряет эластичность и легко ломается. Малая упругость резины пневмошин приводит к уменьшению коэффициента сцепления с дорогой, который возрастает лишь при разогреве резины от движения колеса.

Уменьшение эластичности резины вызывает рост усилий на рукоятках пневмосистем управления. Увеличение жесткости резиновых диафрагм пневматических камер приводит к значительному уменьшению усилий, развиваемых тормозной камерой

Почти у всех пластмасс при понижении температуры возрастает прочность на разрыв, статический изгиб и сжатие (10-30% и более), а также твердость. Однако при этом значительно снижаются ударная вязкость и пластичность материалов, они становятся хрупкими и ломаются при незначительных усилиях.

*Затрудненность запуска* двигателя и машины в целом в зимних условиях является следствием целого ряда факторов. Среди них одним из важнейших

является резкое увеличение вязкости картерных и трансмиссионных масел, которое приводит к росту сопротивления провертыванию коленчатого вала и снижению скорости его вращения при пуске. Вследствие повышения вязкости, количество масла, поступающего к узлам трения, сокращается, в результате чего, в частности, увеличиваются утечки рабочего тела из камеры сгорания. Они возрастают, кроме того, и из-за снижения скорости перемещения поршней.

Утечка рабочей смеси в дизелях приводит к уменьшению степени сжатия, что в свою очередь вызывает снижение температуры в камере сгорания. При малой скорости движения поршней происходит интенсивное поглощение тепла холодными стенками цилиндров, что еще более понижает температуру в конце такта сжатия. Если она станет ниже  $350-400^{\circ}\text{C}$ , смесь может не воспламениться. На рис. 2.4. показаны зависимости температуры в камере сгорания дизеля от степени сжатия и скорости вращения коленчатого вала [104].

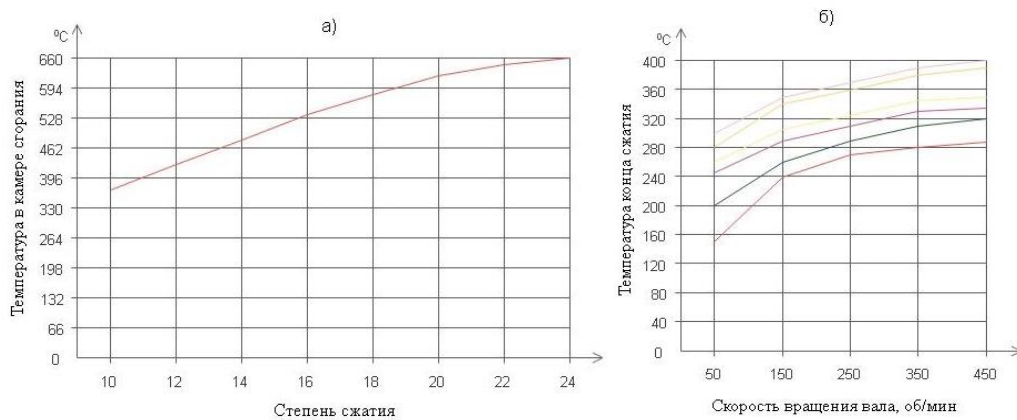


Рисунок.2.4. – Зависимость температуры в камере сгорания дизельного двигателя от степени сжатия и скорости вращения вала:

а) – изменение температуры в камере сгорания, в зависимости от степени сжатия; б) – изменение температуры конца сжатия, в зависимости от скорости вращения коленчатого вала.

Уменьшение температуры в камере сгорания дизеля приводит к резкому увеличению времени сгорания, что значительно ухудшает рабочий процесс двигателя. Возрастают тепловые потери при сжатии и расширении, особенно при первых оборотах вала.

Вследствие ухудшения рабочего процесса сильно возрастает количество топлива, обеспечивающее воспламенение в момент пуска. Иногда подача топлива насосом может оказаться недостаточной. Изменение пропорции смеси дизельного топлива с воздухом вызывает повышение температуры самовоспламенения, что весьма затрудняет запуск [102].

В карбюраторных двигателях, из-за увеличения плотности и вязкости топлива, замедляется его истечение из жиклеров и уровень в поплавковой камере понижается. Часть распыленного топлива осаждается в виде пленки на внутренней поверхности всасывающего трубопровода. Возрастает коэффициент избытка воздуха и обедняется рабочая смесь. Иногда, особенно в случае применения хорошо испаряющихся топлив, имеющих высокие пусковые свойства, происходит обледенение карбюратора, вследствие охлаждения его потоком холодного воздуха.

Отрицательное влияние на запуск двигателей оказывает ненормальная работа электрооборудования. В частности, повышение вязкости электролита приводит к уменьшению емкости аккумуляторной батареи (до 1,5% на Г) и понижению напряжения на ее зажимах. При этом ухудшаются параметры искрового разряда, снижается мощность стартера и уменьшается скорость вращения коленчатого вала. В результате этого контакты прерывателя размыкаются медленно, что еще больше ухудшает параметры искрового разряда.

Мощность двигателей без наддува увеличивается при понижении температуры окружающего воздуха на  $10^{\circ}\text{C}$  приблизительно на 1-1,2%, при одновременном увеличении расхода топлива на 1,1-1,4%. При понижении температуры охлаждающей жидкости в рубашках блоков цилиндров до  $+50^{\circ}\text{C}$  мощность двигателей снижается, а расход топлива увеличивается, примерно, на 10%.

В зимнее время сильно осложняется эксплуатация *систем охлаждения двигателей*. Температура в них должна поддерживаться в сравнительно узких пределах. Она не должна быть выше величин, при которых происходит

чрезмерное разжижение смазки, и ниже значений, обеспечивающих хорошую испаряемость топлива, отсутствие конденсации водяных паров.

Температура металла двигателя сказывается на его объемном КПД, который ухудшается, примерно, на 1% на каждые 7°C увеличения температуры. Температура охлаждающей жидкости должна быть 90-105°C, а металла двигателя – 40-55°C, тогда между движущимися деталями будут оптимальные зазоры.

Большое влияние на работу системы охлаждения оказывает охлаждающая жидкость. Наиболее высокими качествами обладает вода, которая имеет высокий коэффициент теплопередачи, большую теплоемкость и теплопроводность, малый коэффициент объемного расширения. Недостатками воды являются сравнительно низкая температура ее замерзания и образование накипи.

Накипь в 50-100 раз менее теплопроводна, чем металл, ее присутствие ухудшает отвод тепла от двигателя, понижает КПД двигателей и может даже вызвать детонацию бензина в карбюраторных двигателях. Слой накипи толщиной 1,15 мм снижает мощность двигателя на 6% и увеличивает удельный расход топлива на 2%.

Одним из основных современных способов борьбы с накипью является применение антинакипинов, например, гексаметафосфата натрия ( $\text{NaPO}_3$ ), снижающего образование накипи и коррозии на 40-45%. На 1 литр охлаждающей воды его требуется 5-6 мг.

Изменение общей растворимости солей в намагниченной воде при одновременном выпадении гидроокисей металлов приводит к множественному образованию центров кристаллизации по всему объему воды. При этом будет образовываться шлам в виде аморфного скопления мелких кристалликов различных солей и гидроокисей металлов. Щелочная вода будет химически разрушать старую накипь, ее компоненты будут не растворяться в воде, а в виде шлама и кусочков отваливаться от стенок. Последнее может вызвать засорение системы охлаждения, что является одним из основных недостатков рассматриваемого способа [101,102,103,104].

Установки для магнитной обработки воды в принципе представляют собой системы электромагнитов, перпендикулярно силовым линиям которых протекает вода. Они дают довольно большой экономический эффект.

Магнитная обработка воды для котельных установок, предложенная в 1945 г. бельгийским инженером Веймайреном, в настоящее время получила довольно широкое распространение в различных котельных установках и в виде опыта применяется для систем охлаждения двигателей внутреннего сгорания.

Вместо воды в системах охлаждения могут использоваться низкотемпературные жидкости. Однако некоторые из них вызывают коррозию, они довольно дороги, ядовиты. Наиболее хорошими являются этиленгликолевые антифризы; спиртоглицериновые не удобны тем, что при температурах ниже  $-20-30^{\circ}\text{C}$  они замерзают.

В практике вместо антифриза часто находят применение дешевое и доступное зимнее дизельное топливо. Оно замерзает при температуре  $-35-45^{\circ}\text{C}$ , при замерзании его объем не увеличивается, вязкостные свойства дизельного топлива близки к свойствам этиленгликолевого антифриза, а малая теплоемкость обеспечивает легкое поддержание оптимального теплового режима. Основным недостатком дизельного топлива, как охлаждающей жидкости, является вредное действие его на резиновые детали. Расчеты показывают, что даже с учетом этого, применение дизельного топлива экономически выгодно.

Для уменьшения вредного действия дизельного топлива на резиновые изделия целесообразно его предварительно обработать с целью уменьшения окислительной способности. Технология этой обработки несложна и приводится в ряде литературных источников.

Большое влияние на мощность, экономичность и износ деталей двигателя оказывает его тепловой режим и, в частности, температура жидкости в системе охлаждения. Особенно вредно сказывается ее понижение на работу дизелей. При температуре жидкости около  $40^{\circ}\text{C}$  дизель по расходу топлива сравнивается с карбюраторным двигателем, топливо сгорает не полностью, детали осмаливаются, их износ возрастает в 4 раза.



Оптимальная температура жидкости в системе охлаждения дизелей равна 80-95°C. Наблюдения показали, что фактически в сельском хозяйстве и строительстве тракторы 33-46% рабочего времени зимой работают с температурой воды в системах охлаждения от +30 до +50°C, а около 20% с температурой +30°C и ниже.

Для получения оптимального теплового режима системы охлаждения применяются термостаты, регулируемые вентиляторы и жалюзи, съемные тепловые чехлы.

Термостат оказывает большое влияние на скорость прогрева двигателя при пуске, существенно повышая ее (для прогрева от + 10° до +60°C с термостатом требуется 6 мин, без него 30 мин). Поэтому снятие термостатов зимой нерационально, хотя они и могут вызвать замерзание воды в радиаторе, так как при температурах воды ниже +70°C клапаны термостатов закрываются и вода циркулирует, минуя радиаторы [104].

При установившейся работе двигателя на его температурный режим большое влияние оказывает вентилятор. При низких температурах и малых нагрузках почти все тепло от радиатора отводится потоком холодного воздуха, обдувающим радиатор, и именно это и может вызвать его размораживание.

Необходимо регулирование потока воздуха, перемещаемого вентилятором, лучше всего автоматическое. Иногда применяется простое отключение вентилятора.

В настоящее время имеется несколько путей регулирования потока воздуха:

- уменьшение числа оборотов вентилятора за счет уменьшения натяжения его приводного ремня;
- ступенчатое или бесступенчатое изменение числа оборотов вентилятора;
- изменение положения лопастей вентилятора.

Регулирование количества воздуха, проходящего через радиатор, можно осуществлять и с помощью регулируемых жалюзи. Температурный режим сильно зависит от установки утеплительного чехла.

Наличие накипи в системе охлаждения вредно сказывается на ее работе, поэтому накипь должна удаляться промывкой системы щелочными или кислотными растворами. Целесообразно утепление нижнего патрубка и шланга радиатора теплоизолирующими материалами, а также устройство раструба вокруг вентилятора, препятствующего засасыванию холодного воздуха в подкапотное пространство двигателя.

Низкие температуры оказывают существенное влияние на *работоспособность аккумуляторных батарей*, от которой зависит нормальная работа двигателя, а особенно его запуск.

Напряжение  $U$  на клеммах батареи равно

$$U = E - RIB, \quad (2.14)$$

где  $E$  – ЭДС батареи, В;  $R$  – внутреннее сопротивление батареи, Ом;  $I$  – ток, отдаваемый батареей, А.

При изменении температуры от +20 до 70°C ЭДС падает лишь с 2,12 до 2,08 В на элемент, значит величина напряжения  $U$  меняется, главным образом, вследствие изменения  $RL$ .

Внутреннее сопротивление батареи зависит от ряда факторов, из которых наиболее значительно изменяется с температурой плотность электролита. Так, удельное сопротивление электролита с плотностью 1,3 г/см<sup>3</sup> с изменением температуры от +40 до –18°C увеличивается в 2,5 раза [104].

Падение напряжения вызывает уменьшение емкости батареи. Если при температуре +25°C емкость батареи равна 100%, то при –20°C она составляет лишь 60%.

При разряде аккумуляторных батарей электролит в них может замерзнуть. Чем полнее заряжена батарея, тем ниже температура ее замерзания при разрядке. Повышение плотности электролита при зарядке на 4% понижает эту температуру почти вдвое, поэтому для надежной работы аккумуляторов зимой следует

повышать плотность электролита. При плотности электролита 1,31 температура его замерзания равна  $-66^{\circ}\text{C}$ ; 1,27  $-58^{\circ}\text{C}$ ; 1,23  $-40^{\circ}\text{C}$  и т.д. Излишне высокая плотность электролита значительно сокращает срок службы батареи.

Большое значение для эксплуатации машин, особенно для запуска двигателей, имеет величина емкости аккумуляторов.

Утепление или подогрев аккумуляторов необходимы и для улучшения их вольтамперных характеристик, изменения которых прямо пропорциональны температуре электролита. Графики вольтамперных характеристик показывают, например, что при  $-40^{\circ}\text{C}$  получить разрядный ток 400 А вообще нельзя, а при токе 300 А разрядка аккумулятора произойдет за очень короткий срок.

Утепление аккумуляторов осуществляется чехлами или теплоизолирующими ящиками, а подогрев электрическими подогревателями, каталитическими печами, теплым воздухом от двигателя или другими способами. Для предотвращения замерзания электролита батареи должны быть все время полностью заряженными.

Одним из возможных дефектов пусковой электрической системы зимой может быть сваривание контактов реле, которое происходит из-за большой величины разрядного тока батареи при пуске холодного двигателя. Контакты свариваются возникающей при этом электрической дугой [104].

При низких температурах сильно затрудняется и *управление машинами*. Причинами этого являются как изменения параметров систем управления, так и вредное влияние низких температур на людей. Кроме того, условия использования машин зимой обычно значительно сложнее, чем летом.

Сильно уменьшается надежность гидросистем, на которые приходится около 70% отказов машин в зимнее время. Во многом это определяется увеличением вязкости рабочих жидкостей гидросистем, вызывающим рост потерь на трение и усилий, необходимых для управления. Повышение вязкости рабочей жидкости затрудняет работу клапанов, золотников, приводит к рывкам и запаздываниям в системе. В результате этого сильно снижается производительность машин (рис. 2.5.).

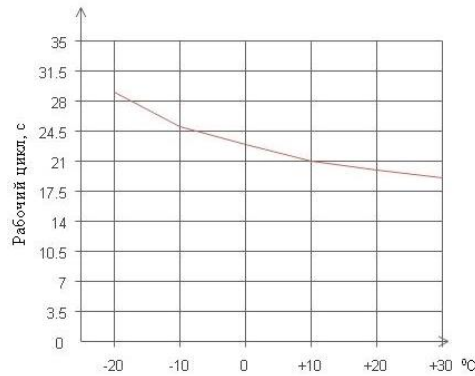


Рисунок. 2.5 – Изменение длительности рабочего цикла экскаваторов, в зависимости от температуры рабочей жидкости в гидравлической системе управления

Уплотнения системы управления могут трескаться, возможно обледенение фильтров, примерзание шариков клапанов. Для устранения всех этих неприятных явлений рекомендуется использовать маловязкие масла, тщательно отрегулировать гидросистему, перед пуском подогревать ее баки и аккумуляторы, а также утеплить их и некоторые клапаны и трубопроводы.

Основной причиной многих неисправностей пневматических систем управления является конденсация, а в дальнейшем и замерзание в них влаги. Поэтому нужно ежедневно спускать конденсат, прогревать замерзшие места горячим воздухом или водой.

Управление машинами зимой затрудняется из-за ухудшения видимости водителем дороги или места работы при обмерзании стекол, а также вследствие низкой температуры в кабине управления. Для устранения обмерзания стекол делается двойное остекление кабин или подогрев стекол, например, электроподогрев токопроводящих стекол.

Кабины должны иметь надежные и безопасные отопители, работающие на том же топливе, что и двигатель. Использование для отопления кабины воздуха из подкапотного пространства двигателя не допускается, вследствие возможности отравления водителей отработавшими газами.

*Технология строительных работ*, выполняемых при низких температурах, значительно усложняется сравнительно с летним периодом. Подробно этот вопрос изучается в специальных дисциплинах. Здесь следует отметить только то,

что иногда для работы в зимних условиях требуются специальные регулировки рабочих органов и другие технологические мероприятия, повышающие эффективность работы машин.

Большая сложность эксплуатации машин при низких температурах обуславливает необходимость проведения ряда мероприятий по подготовке техники к эксплуатации зимой, включаемых в сезонное техническое обслуживание.

К основным из этих мероприятий относятся:

- промывка системы охлаждения двигателей (для удаления из нее накипи и осадков), топливных баков, фильтров и трубопроводов системы питания;
- замена смазки с промывкой картеров и маслопроводов;
- промывка и очистка воздухоочистителей и заправка их маслом;
- проверка аккумуляторов с доведением плотности электролита до соответствующей сезону;
- проверка состояния авторезины;
- проверка и регулировка тормозных систем и систем управления со сменой рабочих жидкостей в гидравлических системах на зимние сорта;
- освежение окраски (при необходимости);
- замена воды в системах охлаждения низкозамерзающей жидкостью;
- замена топлива на зимние сорта;
- утепление кабины, кузова, аккумуляторов, паропроводных и водопроводных труб;
- выполнение всех работ в объеме очередного технического обслуживания.

Кроме того, весь личный состав, эксплуатирующий машины, должен быть обучен управлению машинами и их обслуживанию в зимних условиях [103,104].

## 2.4. Результаты по второй главе

Представленная во-второй главе сложная схема комплексного влияния основных климатических факторов и атмосферных явлений на свойство материалов и надежность машин [35], отражает сложить моделирования процессов ТО и Р НТТМ для условий Республики Тыва. Отличительной особенностью проанализированных работ является использование методов математического моделирования, в основе которых должна находиться необходимая экспериментальная база эмпирических данных, имеющая непосредственное отношение к исследуемому процессу или явлению [114]. Основной трудностью применения данного инструмента математического моделирования исследуемых процессов является то, что с увлечением количества факторов резко увеличивается необходимое количество эмпирических данных или необходимое количество опытов, так как при проведении сложных исследований объектов или процессов во избежание грубых ошибок необходимо ввести в рассмотрение максимально возможное число факторов. Практические данные показывают обратную ситуацию, с увеличением срока эксплуатации НТТМ в предприятиях Республики Тыва увеличиваются интервалы производимых работ по ТР, в связи со значительными непроизводственными простоями техники. Поэтому определяется необходимость разрабатывать модели исследования процессов ТО и Р, позволяющие искусственно позволяющий сократить число опытов не за счёт сокращения числа факторов, а за счет аналитических методов снижения неопределённости в исследуемой системе.

Анализ приведенных моделей влияния условий эксплуатации НТТМ на процессы ТО и Р показал, что, как правило, используются методы математического моделирования, в основе которых должна находиться необходимая экспериментальная база как совокупность наблюдений, эмпирических данных имеющая непосредственное отношение к исследуемому процессу или явлению [114]. Основной трудностью математического моделирования исследуемых процессов является то, что с увлечением количества

факторов резко увеличивается необходимое количество эмпирических данных или необходимое количество опытов, так как при проведении сложных исследований объектов или процессов во избежание грубых ошибок рекомендуется с начала ввести в рассмотрение максимально возможное число факторов. Однако с увеличением количества факторов, возрастает объём экспериментальных исследований, число необходимых опытов, причём это возрастание происходит по закону показательной функции. В этом случае может возникать ситуация неопределённости информационной среды, сгенерированная большим числом объектов или элементов, включённых в ситуацию [114].

## **ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРРЕКТИРОВАННОЙ ДЛЯ КОНКРЕТНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

### **3.1. Структура методики корректирования периодичности ТО машин**

#### **3.1.1. Определение метода исследования влияния сложного комплекса факторов на работоспособность НТТМ**

В главе 2 настоящего исследования было показано, что на изменение параметров технического состояния и, следовательно, работоспособность НТТМ оказывает влияние значительное количество факторов. Традиционно общую совокупность факторов влияния на исследуемый процесс разделяют на группы или подгруппы факторов. Например, на работоспособность НТТМ в условиях республики Тыва, существенное влияние оказывают низкие и высокие температуры воздуха и его влажность, скорость ветра, туманы, солнечная радиация и т.п. Воздействие этих факторов вызывает определенные виды отказов машин вследствие случайных перегрузок, усталостных явлений в материалах, действия сил трения и т.п. [35]. Ранее на рисунке 2.3 была представлена сложная схема комплексного влияния основных климатических факторов и атмосферных явлений на свойство материалов и надежность машин [35]. Как правило для описания сложных процессов ТО и Р используются методы математического моделирования, в основе которых должна находиться необходимая экспериментальная база как совокупность наблюдений, эмпирических данных имеющая непосредственное отношение к исследуемому процессу или явлению [114]. Основной трудностью математического моделирования исследуемых процессов является то, что с увлечением количества факторов резко увеличивается необходимое количество эмпирических данных или необходимое количество опытов, так как при проведении сложных исследований объектов или процессов во избежание грубых ошибок рекомендуется с начало ввести в



рассмотрение максимально возможное число факторов. Однако с увеличением количества факторов, возрастает объём экспериментальных исследований, число необходимых опытов, причём это возрастание происходит по закону показательной функции. В этом случае может возникнуть ситуация неопределённости информационной среды, сгенерированная большим числом объектов или элементов, включённых в ситуацию [114]. Решаться задачи в данных условиях могут несколькими путями:

1. Применением методов, искусственно позволяющий сократить число опытов не за счёт сокращения числа факторов. Минимизация числа опытов может достигаться, например, при использовании метода дробного факторного эксперимента (ДФЭ). В этом случае при отсутствии информации об эффектах взаимодействия между факторами необходимо определяется реплика с наибольшей разрешающей способностью. Выбрать реплику – это значит выбрать эффект взаимодействия, который иногда лучше всего заменить новым фактором, а новые учитываемые факторы и ограничения могут формализованы в функции оптимизации в виде отдельных критериев, а задача определяться как многокритериальная. Таким образом ДФЭ минимизируя число опытов может перевести ситуацию из многофакторной к многокритериальной.
2. Во избежание чрезмерного усложнения и математической модели применяют методы отсеивания несущественных факторов – отсеивание факторов. Отсеивание факторов производится на основе априорного ранжирования (безопытного) анализа и специального предварительного эксперимента. Априорный анализ факторов и отсеивание из них менее существенных может, производиться путём анализа имеющихся данных и логических выводов на их основе. Однако при этом не исключена опасность субъективности ошибок, которая возрастает с увеличением сложности и малой изученности процессов и явлений. Во избежание этого для априорного анализа информационной ситуации привлекают группы специалистов и в дальнейшем используют определённые варианты методов

экспертных оценок. Что в свою очередь влечёт повышение субъективизма при исследовании процесса [68].

Процессы с неопределёнными вероятностными характеристиками или происходящие в неопределённом состоянии внешней среды – год наиболее сложная ситуация в исследовании. Но методы исследования непрерывно совершенствуются по мере развития науки, техники, создания нового оборудования, аппаратуры, технических средств. Современная наука накопила много методов и приёмов познания изучаемых объектов, явлений, а развитие технологий получения экспериментальных данных приводит к новому качеству методов исследования – цифровому моделированию. В этом случае актуализируется нечасто применяемый прикладных науках метод – метод абстракции. Метод абстракции применяется тогда, когда целесообразно, в связи со сложностью научаемого явления или процесса исключить из наблюдения ряд несущественных или в данном вопросе второстепенных свойств для того, чтобы сосредоточить внимание на главных свойствах; когда требуется открыть закон или какую-нибудь зависимость в «чистом» виде, отбрасывая в определённом плане несущественные подробности. Моделирование объектов основывается на методе абстракции. Развитием метода абстракции является метод формализации (идеализации). Метод формализации заключается в том, что исследуемые процесс, явление, объект (его свойства, признаки) выражаются математическими терминами и формулами. Строится так называемая цифровая математическая модель, т.е. математическое уравнение или система уравнений, решая которые можно анализировать определение свойства объекта (явления, процесса). Процесс проникновения математики и её методов в другие науки существенно ускорился в связи с активным развитием вычислительной техники, использованием её на производстве. Важным свойством абстрактного моделирования является возможность полнообъёмного программирования процесса исследования с целью автоматизации получения необходимых решений – цифровизации процедуры принятия решения. Поэтому разработка аналитических методов снятия

неопределённости в сложных информационных состояниях среды исследования являются актуальным направлением научных исследований.

В главе 2 выявлены основные группы факторов, активно влияющие на периодичность работ по ТО и Р и эффективность использования НТТМ в условиях республики Тува, а именно:

1. Климатические факторы, характеризующиеся продолжительностью воздействия отрицательных температур воздуха; сильными и частыми ветрами; большим перепадом температур в течение суток и года; большим снежным покровом в зимний период и заболоченным ландшафтом летом; наличием мерзлых и вечномёрзлых грунтов значительных слоев; образованием густых туманов при температуре ниже  $(-35) - (-40) ^\circ\text{C}$ ; наличием полярной ночи, когда работы возможно только при искусственном освещении и т.д.
2. Факторы рельефа местности, учитываемые с помощью коэффициента атмосферного давления; коэффициента, учитывающего понижение температуры по мере увеличения высоты над уровнем моря; коэффициента изменения скорости ветра по мере увеличения высоты над уровнем моря и т.д.
3. Факторы, определяемые существующей практикой технической эксплуатации механизмов и ремонтных работ и организации его работы.

### **3.1.2. Аналитическая модель определения показателей ТО и Р эксплуатации НТТМ в виде дискретных зависимостей**

Любая функционирующая система должна поддерживаться в работоспособном состоянии. Для технических систем, подобных транспортно-технологическим машинам, это условие выполняется путем профилактических мероприятий в виде регулировок, смены смазки и непосредственно ремонта, осуществляемого путем восстановления изношенных деталей или их замены на новые [18,19,94]. Надежность НТТМ существенно зависит от срока их

эксплуатации. Анализ исходных данных на рисунке 3.1 позволяет высказать рабочую гипотезу: в течение всего времени эксплуатации бульдозера можно выделить два периода. В первом периоде (с первого по пятый год службы) наработка на отказ существенно уменьшается, что позволяет выдвинуть предположение об экспоненциальном характере изменения потока отказов [2,10,14,93].

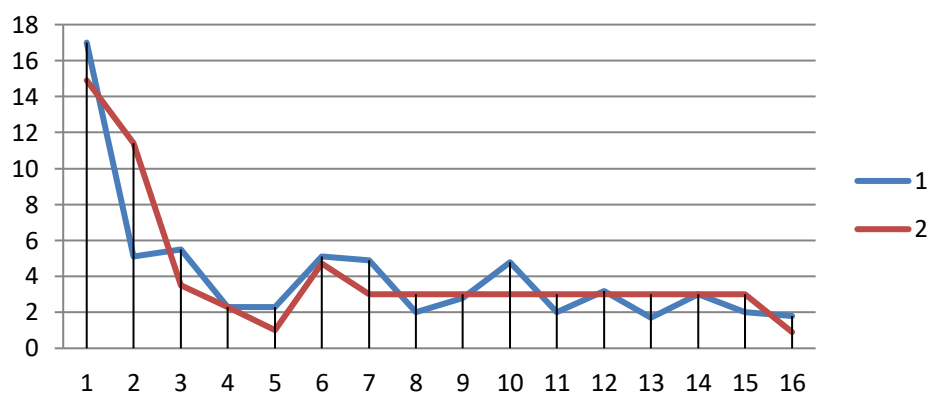


Рисунок 3.1 – Распределение наработки на отказ бульдозера

I – эмпирическая линия; II – теоретическая линия.

Изменение интенсивности отказов в последний период эксплуатации машин дает возможность предположить равномерный характер распределения наработки на отказ. Только в первые 5-6 лет имеется существенная разница между машинами с разными сроками службы с точки зрения наработки на отказ. Бульдозеры ремонтируются обезличенным методом, то с увеличением срока службы все труднее говорить о «возрасте» машин в целом, т.к. отдельные ее части имеют разный возраст. Происходит «осреднение» возраста машины, поэтому и наработка на отказ приблизительно одинакова [14,20]. Приведенные расчеты подтверждают высказанную рабочую гипотезу [9,24]:

- 1) В первые 5 лет службы бульдозера наработка на отказ подчинена экспоненциальному закону распределения;
- 2) В последующий период (с 6 по 15 год эксплуатации) наработка на отказ распределена равномерно.

Поток отказов техники может быть описан законами распределения

случайных величин. При этом оказалось, что в отдельные периоды службы машин этот поток может описываться различными законами. Так, например, отказы бульдозерного парка наиболее достоверно описываются в первые 5 лет эксплуатации экспоненциальным законом, а в дальнейшем – равномерным распределением. Вместе с тем, показатели надежности отражают условия эксплуатации машин. Найденные закономерности дают возможность прогнозировать уровень появления отказов техники, зависящий от «возраста» машин и условий эксплуатации. В целом подтверждается тенденция к более частому техническому обслуживанию при старении машины. Возраст машины проходит интенсивное описание техники, которую в последние месяцы эксплуатируют на более легком режиме и производят минимум профилактических работ (таблица 3.1) [27, 46].

Таблица 3.1 – Сводная таблица расчета периодичности ТО бульдозеров

Год службы	Значения, рассчитанные по управлению регрессии			Фактические удельные затраты руб/маш-час
	Периодичность ( $x_{ji}$ ) маш-час	Наработка на отказ ( $x_{jз}$ ) маш-час	Удельные приведенные затраты руб/маш-час	
1	306	4666	0,37	0,48
2	309	2727	0,47	0,58
3	282	3415	0,42	0,59
4	276	2528	0,61	0,84
5	244	2212	0,70	0,88
6	263	2500	0,75	0,82
7-8	201	2039	0,95	0,86
9 и старше	222	2050	0,82	0,97

Результаты статистических материалов и расчет бульдозеров показывают, что основными факторами, влияющими на удельные затраты, являются изменение природно-климатических условий, «возраст» машины, периодичность проведения ТО и уровень аварийных отказов. С увеличением возраста до определенного момента удельные приведенные затраты также увеличиваются, а тенденция к увеличению затрат прослеживается слабо. Для бульдозеров этот момент наступает где-то в районе 9-летнего возраста.

Как видно из таблицы 2.1 периодичность проведения ТО для каждого года эксплуатации машин может быть различной, причем отклонения от ныне нормативно принятой достигают 25%. Изменяется и наиболее вероятный уровень unplanned ремонтов [59]. Рассматривая изменение фактических и расчетных удельных затрат следует отметить примерно одинаковые темпы их прироста по бульдозерам. Отсюда можно сделать вывод, что по бульдозерному парку внедрение рациональной периодичности дает наибольший эффект для более «старых» машин. Но, условия эксплуатации зависят не только от климатических особенностей местности, но и от времени года [3]. Для определения влияния региональных условий местности на изменение работоспособности по отказам гидроцилиндров будем рассматривать для двух регионов, расположенных в различных климатических зонах: Республика Тыва и Ленинградская область. Республика Тыва в летний период отличается значительными климатическими особенностями по сравнению с Ленинградской областью. Например, высокая температура воздуха до  $+40^{\circ}\text{C}$ , запыленность до  $3,24 \text{ г/м}^3$ , категория грунта групп, создают благоприятные условия для повреждаемости основных деталей гидроцилиндров.

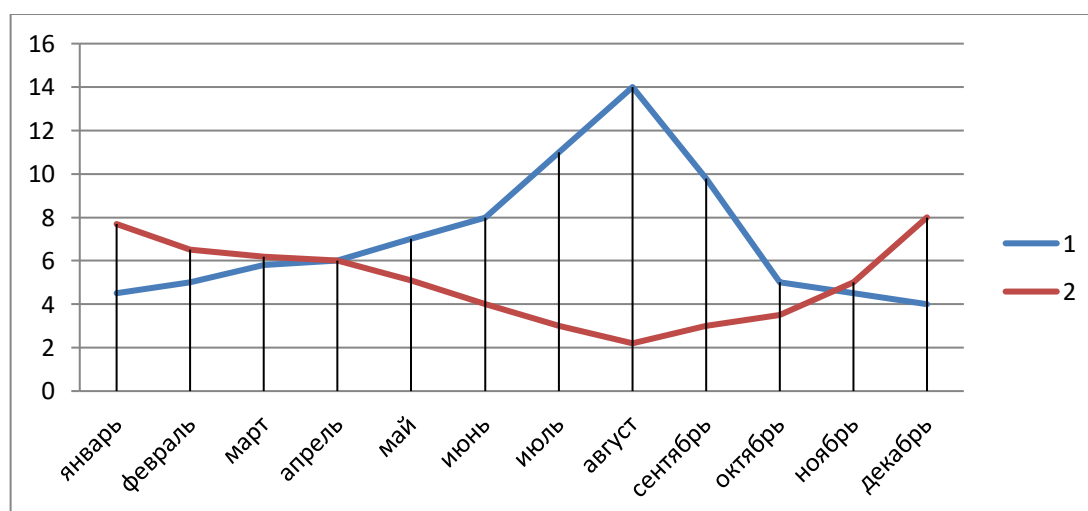


Рисунок 3.2. – Изменение количества отказов гидроцилиндров экскаваторов 3-й и 4-й размерных групп от времени года. I – в Республике Тыва, II – в Ленинградской области.

Кроме того, повышенная температура рабочей жидкости значительно влияет на ресурс резинотехнических изделий, вызывая преждевременное старение

материала уплотнителей и повышенный износ сопряжений вследствие уменьшения вязкости рабочей жидкости. Так в летний период согласно данным, приведенным в таблице 3.2, около 70% отказов гидроцилиндров приходится на уплотнители.

Таблица 3.2 – Изменение количества отказов от времени года.

№	Время года (месяцы)	Республика Тыва количества отказов $n$	Время года (квартал)	Ленинградская область количество отказов
1	1-2	5	1	7
2	2-4	6	2	6
3	4-6	8	3	2
4	6-8	14	4	8
5	8-10	5	-	-
6	10-12	4	-	-

**Установлено, что эмпирические функции распределения плотности вероятности подчиняются закону Вейбулла. Таким образом основные показатели технической эксплуатации НТТМ, такие как КТИ и КТГ могут быть различны для различных периодов эксплуатации и отличаться даже по временам года.**

При исследовании динамики изменения технического состояния техники и её агрегатов в процессе технической эксплуатации (ТЭ), как правило, применяются непрерывные формы функциональных зависимостей. Это позволяет при исследовании процессов ТЭ использовать классический аппарат математического моделирования и анализа, основанный на применении методов интегрирования и дифференцирования непрерывных функций. В практике применения практических расчётов, связанных с оценкой, контроля, планирования и управления показателями ТЭ машинотракторного парка НТТМ, может быть использована дискретная форма представления функциональных показателей. При этом, нередко, использование для анализа показателей ТЭ классических методов, дифференцирования и интегрирования, может быть не всегда оправданным. В данных случаях может с успехом применяться другой

математический аппарат, позволяющий исследовать функции, имеющие дискретный вид. Непрерывную функцию всегда можно представить в виде дискретной зависимости, однако такое представление неизбежно влечёт появление определённой погрешности [85]. В исследованиях, посвящённых динамике изменения показателей технического состояния машин (особенно автомобильной техники) в процессе их технической эксплуатации (ТЭ), как правило, рассматриваются непрерывные формы математических зависимостей [1,9,43,62,84]. Что, в свою очередь, позволяет использовать классический инструментарий математического анализа, базирующийся на операциях дифференцирования и интегрирования непрерывных функций. Преимуществом данного подхода является простота математического представления исследуемых процессов [128,129], но при этом существуют случаи, когда применение для анализа данных классических математических методов оказывается или невозможным, или такое представление неизбежно влечёт появление определённой погрешности [85]. В реальной практике ТО и Р НТТМ для учёта, планирования и в практических расчётах, связанных с управлением и оценкой деятельности парков подвижного состава может быть использована дискретная форма представления показателей технической эксплуатации.

Непрерывную функцию всегда можно представить в виде дискретной зависимости [118,119]. Рассмотрим возможность представления процессов изменения по времени основных показателей работы НТТМ в дискретной форме на примере значений коэффициента технического использования (КТИ) [38].

Пусть изменение коэффициента технического использования автомобиля ( $k^{ТИ}$ ) по времени работы автомобиля ( $t$ ) описывается дискретной функцией.

$$k^{ТИ}(t) = \exp(-\beta t); t = 1, 2, \dots, t^c \quad (3.1)$$

где  $t$  – время эксплуатации НТТМ до момента его списания;  $\beta$  – параметр, характеризующий изменение КТИ.

Графический вид зависимости (1) представлен на рисунке 3.3. На рисунке показано изменение значений  $k^{ТИ}(t)$  при непрерывной форме представления этого показателя ТЭА и в дискретной форме.



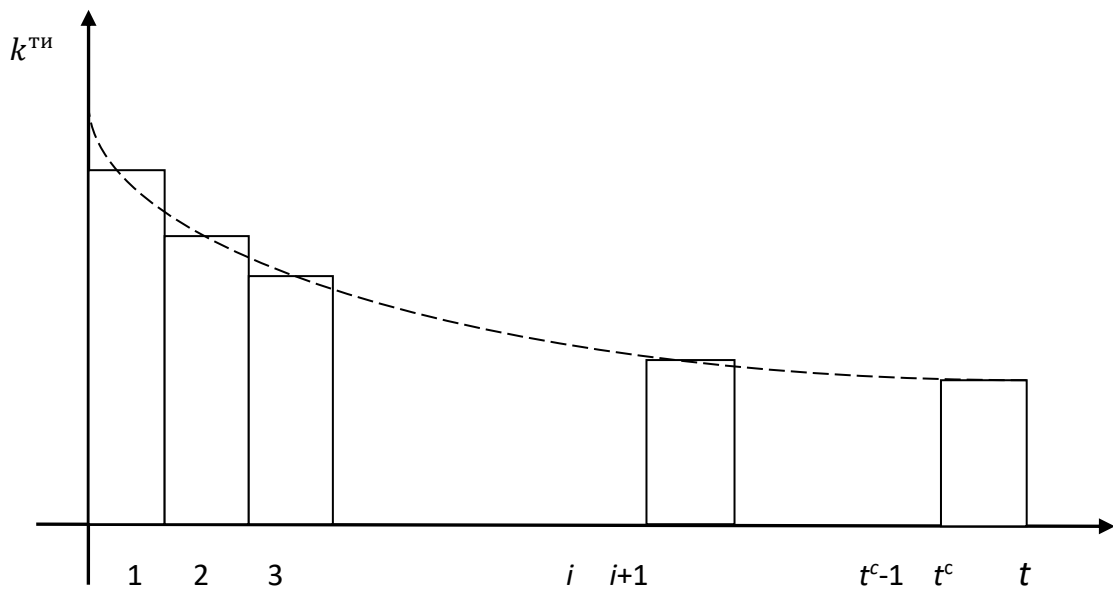


Рисунок 3.3 – Пример непрерывной и дискретной формы представления изменения значений КТИ

Естественно, что при переходе от непрерывной формы к дискретным формам представления показателей ТЭ изменяется их физическая интерпретация, так как в дискретных формах представления исследуемые показатели вычисляются только для отдельных дискретных значений ( $t = 0, 1, 2, \dots$ ) на непрерывной шкале времени  $[0; t^c]$ . Потому будем понимать под выражением  $k^{TI}(t)$  значение КТИ НТТМ в период или интервал  $[t; t + 1]$ . Данное толкование  $k^{TI}(t)$ :

- 1) соответствует практической действительности предприятия, поскольку КТИ НТТМ по определению является не статическим значением, а динамическим показателем и имеет смысловую нагрузку не для отдельного момента времени ( $t$ ), а для любого диапазона времени  $\Delta t$ .
- 2) подтверждается исследованными по данной тематике, когда в качестве периода времени  $[t; t+1]$  рассматривается интервал ТО в соответствии с регламентом фирмы-производителя техники.

Обозначим  $L(t)$  функцию, определённого в период  $[t; t+1]$ , тогда:

$$L(t) = L_0 k^{TI}(t) = \exp(-\beta t); \quad t = 1, 2, \dots, t^c - 1, \quad (3.2)$$

где  $L_0$  – пробег, имеющего возраст  $t = 0$ , в период  $t = [0; 1]$ , то есть наработка НТТМ в дискретную единицу времени (для определённости за единицу времени примем 1-ый интервал ТО, тогда  $L_0$  – наработка нового НТТМ;  $L(t)$  – наработка возраста  $t$  интервалов ТО;  $k^{тн}(t)$  – КТИ НТТМ, имеющего возраст  $t$ , в  $(t+1)$ -й интервал его эксплуатации.

Используя выражение (3.2), можно представить функцию наработки НТТМ во НТТМ до его списания  $L^c$ , то есть за время его эксплуатации  $[0; t^c]$ .

$$L^c = \sum_{t=0}^{t^c-1} L(t) = L_0[1 + \exp(-\beta) + \exp(-2\beta) + \dots + \exp(-(t^c - 1)\beta)]. \quad (3.3)$$

Выражение (3.3), представленное в квадратных скобках является собой геометрической прогрессий, содержащей  $(t^c)$  членов, в которой 1-ый член равен единице, а знаменатель –  $\exp(-\beta)$ . Определим всю сумму членов данной геометрической прогрессии:

$$L^c = \frac{L_0(1 - \exp(-\beta t^c))}{1 - \exp(-\beta)}. \quad (3.4)$$

Если НТТМ имеет возраст, соответствующий  $(t_1)$  интервалов, можно определить ожидаемую наработку в период  $[t_1; t_2]$ :

$$L(t_1, t_2) = L = \frac{L(t_1)[1 - \exp(-\beta(t_2 - t_1))]}{1 - \exp(-\beta)}. \quad (3.5)$$

Выражение (3.5) является общей формулой, связывающей ожидаемую наработку с периодом его эксплуатации между интервалами ТО. Например, при

$$t_1 = 0 \text{ и } t_2 = t^c$$

формулы (3.4) и (3.5) имеют тождественные результаты.

Перегруппируем члены формулы (3.5) и прологарифмируем их, тогда период  $[t_1; t_2]$  в течении, которого НТТМ реализует наработку  $L(t_1; t_2)$ , можно определить по формуле:

$$t_1 - t_2 = \frac{-\ln\left[1 - \frac{L(t_1, t_2)}{L(t_1)}(-\exp(-\beta))\right]}{\beta}. \quad (3.6)$$

Из формулы (3.6) следует, что общее время эксплуатации ДСМ до достижения им  $(L^c)$  определяется, как:

$$t^c = \frac{-\ln\left[1 - \frac{L^c}{L_0}(-\exp(-\beta))\right]}{\beta}. \quad (3.7)$$

Выражение (3.7) формируется при подстановке в формулу (3.6) значений ( $t_1 = 0$ ) и ( $t_2 = t^c$ ).

Тогда значение реализуемого КТИ НТТМ  $\bar{k}^{\text{ТИ}}$  за период его эксплуатации  $[0, t^c]$  определяется, как:

$$\bar{k}^{\text{ТИ}} = \frac{k_{\Sigma}^{\text{ТИ}}}{t^c}. \quad (3.8)$$

где  $k_{\Sigma}^{\text{ТИ}}$  – сумма КТИ НТТМ за период его эксплуатации  $[0, t^c]$  и соответственно за время  $t^c$ .

Тогда можно записать:

$$k_{\Sigma}^{\text{ТИ}} = \sum_{t=0}^{t^c-1} k^{\text{ТИ}}(t) = \sum_{t=0}^{t^c-1} \exp(-\beta t) = \frac{1-\exp(-\beta t^c)}{1-\exp(-\beta)}. \quad (3.9)$$

С учётом формул (3.4), (3.8) и (3.9) получим, что:

$$\frac{L^c}{L_0} = t^c \bar{k}^{\text{ТИ}} \quad (3.10)$$

Следовательно, реализуемый КТИ НТТМ за весь период его эксплуатации определяется по формуле:

$$\bar{k}^{\text{ТИ}} = \frac{L^c}{L_0 t^c}. \quad (3.11)$$

Так как:

$$\exp(-\beta t^c) = k_{\min}^{\text{ТИ}}, \quad (3.12)$$

где  $k_{\min}^{\text{ТИ}}$  – КТИ НТТМ при его списании.

Тогда, используя формулы (3.4), (3.9) и (3.10) можно представить следующие выражения:

$$L^c = \frac{L_0(1-k_{\min}^{\text{ТИ}})}{1-\exp(-\beta)}. \quad (3.13)$$

$$k_{\Sigma}^{\text{ТИ}} = \frac{1-k_{\min}^{\text{ТИ}}}{1-\exp(-\beta)}. \quad (3.14)$$

$$\bar{k}^{\text{ТИ}} = \frac{1-k_{\min}^{\text{ТИ}}}{t^c[1-\exp(-\beta)]}. \quad (3.15)$$

Выражения (3.13) ... (3.15) определяют соответственно: срок службы НТТМ до его списания, сумму его КТИ и реализуемый КТИ за весь период его эксплуатации. Для сравнения представим формулы, полученные на основе

классического математического аппарата при вычислении аналогичных показателей:

$$k_{\Sigma}^{\text{ти}} = \frac{1 - k_{\text{min}}^{\text{ти}}}{\beta}. \quad (3.16)$$

$$L^c = \frac{L_0(1 - k_{\text{min}}^{\text{ти}})}{\beta}. \quad (3.17)$$

Сравнение показывает наличие несоответствия:

$$1 - \exp(-\beta) = \beta. \quad (3.18)$$

Что объясняется представлением показателей ТЭА в дискретной форме. Отмеченное обстоятельство обозначает, что применение математического аппарата оценки изменения основных показателей ТЭА в дискретной форме возможно не при произвольном шаге дискретности, а лишь при специально определённом:

$$\Delta t = t_{i+1} - t_i; i = 0, 1, 2, \dots, t^c - 1. \quad (3.19)$$

Проведем анализ данного решения:

- 1) при больших величинах ( $\Delta t$ ) экспоненциальный закон изменения значений показателей ТЭА во времени вырождается в линейный и в этом случае теряется точность их оценки;
- 2) при незначительных величинах ( $\Delta t$ ) возрастает объём вычислительной операций при оценке показателей ТЭА, определяющих эффективность эксплуатации автомобиля.

Ответ на поставленные вопросы связан с решением важной проблемы – соответствия значений регламентных ТО условиям их эксплуатации.

**Результаты.** При определении интервалов ТО целесообразно применять, как классический математический аппарат для анализа показателей ТЭА, так математический аппарат представления показателей в дискретной форме:

1. Если при обработке статистических данных, полученных методами регрессионного анализа теснота связей в уравнениях регрессии выше, чем при полученной экспоненциальной зависимости в дискретной форме, тогда интервал ТО соответствует условиям эксплуатации.

2. Если при обработке статистических данных, полученных методами регрессионного анализа теснота связей в уравнениях регрессии ниже, чем при экспоненциальной зависимости в дискретной форме, тогда принятый интервал ТО требует уточнения, так как определяется погрешность, приводящая к искажению объективных данных при определении производственной программы по ТО и ТР.

Как уже отмечалось, эмпирические данные показывают повышение вероятный уровня неплановых ремонтов для НТТМ, работающих в условиях республики Тува. Для того, чтобы оценить возможные изменения в расчёте показателей ТЭ НТТМ (отличия плановых показателей ТР от неплановых) необходимо разработать дискретную форму для их определения. Для этого необходимо применить следующие формулы по определению показателя удельная трудоёмкость ТР.

Формула для определения трудоёмкости ТР (норма-час/маш-час), приходящейся на 1000 маш-час. в пределах одного цикла ТО, может выглядеть следующим образом (чел·час/1000) [114]:

$$t_{\text{тр}j} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} T_{\text{тр}ij}}{\Delta l_j} \cdot 1000 \quad \text{или} \quad t_{\text{тр}j} = \frac{10^3}{L_{\text{ц}j}^{\text{то}}} \cdot \sum_{i=1}^{n_j} T_{\text{тр}ij} \quad (3.20)$$

где  $n$  – количество необходимых воздействий ТР в пределах цикла ТО

Если необходимо получить среднее значение трудоёмкости ТР на более значительном интервале времени для расчёта годовой производственной программы по ТР, можно применить следующую формулу:

$$\bar{t}_{\text{тр}} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m t_{\text{тр}j} \quad (3.21)$$

где  $m$  – количество циклов ТО в пределах исследуемого интервала времени, ед.

После постановки формулы (3.20) в (3.21) получим [114] значение показателя удельная трудоёмкость ТР при дискретной форме расчёта:

$$\bar{t}_{\text{тр}} = \frac{10^3}{m} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} \frac{t_{\text{тр}ij}}{L_{\text{ц}j}^{\text{то}}} \quad (3.22)$$

## **3.2. Установление отклонения режимов технического обслуживания НТТМ от нормативных параметров**

### **3.2.1. Методика определения предельной абсолютной погрешности трудоемкости ТР методом наименьших квадратов**

Метод наименьших квадратов (МНК) один из методов определения ошибок для оценки неизвестных величин по результатам измерений, содержащим случайные ошибки. МНК применяется также для приближенного представления заданной функции другими (более простыми) функциями и часто оказывается полезным при обработке наблюдений. МНК был предложен К. Гауссом (C.Gauss) и А. Лежандром (A. Legendre). Строгое обоснование и установление границ содержательной применимости МНК даны А. А. Марковым и А. Н. Колмогоровым. В простейшем случае линейных связей и наблюдений, не содержащих систематических ошибок, а подверженных лишь случайным ошибкам, оценки неизвестных величин, полученные с помощью МНК, являются линейными функциями от наблюдаемых значений. Эти оценки не имеют систематических ошибок, т. е. являются несмещенными. Если случайные ошибки наблюдений независимы и подчиняются нормальному распределению, то МНК дает оценки неизвестных с наименьшей дисперсией, т. е. эти оценки являются [68] эффективными. В этом смысле МНК является наилучшим среди всех остальных методов, позволяющих находить несмещенные оценки [68]. Однако если распределение случайных ошибок существенно отличается от нормального, то МНК может и не быть наилучшим.

При обосновании МНК (по Гауссу) предполагается, что:

- 1) «убыток» от замены точного (неизвестного) значения некоторой величины  $\mu$  ее приближенным значением  $X$ , вычисленным по результатам наблюдений, пропорционален квадрату ошибки  $(X-\mu)^2$ ;

2) оптимальной оценкой считается такая лишенная систематической ошибки величина  $X$ , для которой среднее значение  $E(X-\mu)^2$  «убытка» минимально, именно это требование и составляет основу МНК.

В общем случае отыскание оптимальной в смысле МНК оценки  $X$  - задача весьма сложная, поэтому практически эту задачу сужают и в качестве  $X$  выбирают линейную функцию от результатов наблюдений, лишенную систематической ошибки, и такую, для которой среднее значение убытка минимально в классе всех линейных функций. Если случайные ошибки наблюдений подчиняются нормальному распределению и оцениваемая величина  $\mu$  зависит от средних значений результатов наблюдений линейно (случай, весьма часто встречающийся в приложениях МНК), то решение этой задачи будет одновременно являться и решением общей задачи. При этом оптимальная оценка  $X$  также подчиняется нормальному распределению со средним значением  $\mu$  и, следовательно, плотность вероятности случайной величины  $X$  [130].

$$p(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (3.23)$$

достигает максимума в точке  $x = \mu$  (это свойство и выражает точное содержание распространенного в теории ошибок утверждения: "оценка  $X$ , вычисленная согласно МНК – это наиболее вероятное значение неизвестного параметра  $\mu$ ").

Пусть для оценки значения неизвестной величины  $\mu$  произведено  $n$  независимых наблюдений, давших результаты  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ , т. е. [68].

$$Y_1 = \mu + \delta_1, Y_2 = \mu + \delta_2, \dots, Y_n = \mu + \delta_n, \quad (3.24)$$

где  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$  - случайные ошибки (по определению, принятому в классической теории ошибок, случайные ошибки - независимые случайные величины с нулевым математическим ожиданием:  $E\delta_i = 0$ ; если же  $E\delta_i \neq 0$ , то  $E\delta_i$  называются систематическими ошибками).

Согласно МНК в качестве оценки величины  $\mu$  принимают такое  $X$ , для которого будет наименьшей сумма квадратов (отсюда и само название метода) [130]:

$$S(X) = \sum_{i=1}^n p_i (X - Y_i)^2, \quad (3.25)$$

где  $p_i = k/\sigma_i^2$  и  $\sigma_i^2 = D\delta_i = E\sigma_i^2$  (коэффициент  $k > 0$  можно выбирать произвольно).

Величину  $p_i$  называют весом, а  $\sigma_i$ -квадратичным отклонением измерения с номером  $i$ . В частности, если все измерения равно точны, то  $\sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_n$  и в этом случае можно положить  $p_i = 1/n$ . Если же каждое  $Y_i$  - арифметическое среднее из  $n_i$  равноточных измерений, то полагают  $p_i = n_i$ . Сумма  $S(X)$  будет наименьшей, если в качестве  $X$  выбрать взвешенное среднее:

$$X = \bar{Y} = \frac{1}{P} \sum p_i Y_i, \quad (3.26)$$

где  $P = \sum p_i$ .

Оценка  $\bar{Y}$  величины лишена систематической ошибки, имеет вес  $P$  и дисперсию

$$D\bar{Y} = k/P. \quad (3.27)$$

В частности, если все измерения равноточны, то  $\bar{Y}$  - арифметическое среднее результатов измерений:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum Y_i \quad (3.28)$$

$$D\bar{Y} = \delta^2/n. \quad (3.29)$$

При некоторых общих предположениях можно показать, что если количество наблюдений  $n$  достаточно велико, то распределение оценки  $\bar{Y}$  мало отличается от нормального с математическим ожиданием  $\mu$  и дисперсией  $k/P$ . В этом случае абсолютная погрешность приближенного равенства  $\mu \approx \bar{Y}$  меньше  $t \sqrt{k/P}$  с вероятностью, близкой к значению интеграла

$$I(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-u^2/2} du \quad (3.30)$$

например,

$$I(1,960) = 0,950; I(2,58) = 0,990; I(3,00) = 0,997.$$

Если веса измерений  $P_i$  заданы, а множитель  $k$  до наблюдений остается неопределенным, то этот множитель и дисперсия оценки  $\bar{Y}$  могут быть оценены по формулам [130]:

$$k \approx S(\bar{Y})/(n - 1) \quad (3.31)$$



$$D\bar{Y} = \frac{k}{p} \approx s^2 = S(\bar{Y})/[(n-1)P] \quad (3.32)$$

- обе оценки лишены систематических ошибок.

В том практически важном случае, когда ошибки  $\delta_i$  подчиняются нормальному распределению, можно найти точное значение вероятности, с которой абсолютная погрешность приближенного равенства  $\mu \approx \bar{Y}$  окажется меньше  $t_s$  ( $t$ -произвольное положительное число) [130]:

$$I_{n-1}(t) = C_{n-1} \int_0^t \left(1 + \frac{u^2}{n-1}\right)^{-n/2} du \quad (3.33)$$

где постоянная  $C_{n-1}$  выбрана таким образом, чтобы выполнялось условие  $I_{n-1}(\infty) = 1$  (Стьюдента распределение с  $n-1$  степенями свободы).

При больших  $n$  формулу (3.33) можно заменить формулой (3.32). Однако применение формулы (3.32) при небольших  $n$  привело бы к грубым ошибкам. Так, например, согласно (3.32) значению  $I = 0,99$  соответствует  $t=2,58$ ; истинные значения  $t$ , определяемые при малых  $n$  как решения соответствующих уравнений  $I_{n-1}(t) = 0,99$  [130].

### 3.2.2. Расчёт предельной абсолютной погрешности при определении трудоёмкости ТР НТТМ методом наименьших квадратов

Определяем объем выборки

$$\bar{X} \mp Z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.34)$$

где:  $\bar{X}$  – среднее значение выборки,  $Z$  — значение стандартизованной нормально распределенной случайной величины, соответствующее интегральной вероятности, равной  $(1 - \alpha/2)$ ;  $\sigma$  — стандартное отклонение генеральной совокупности,  $n$  – объем выборки

Используя данные результатов исследования трудоёмкости ТР НТТМ, определим необходимое количество НТТМ необходимых для привлечения к участию в экспертной оценке (Приложение Б). В Приложении Б и далее: **под №**

**ремонта понимается номер дискретного интервала исследования в течении которого формировались данные о трудоёмкости ТР НТТМ.**

Для проведения расчетов, установим допустимую ошибку выборочного исследования равной  $\pm 0,5$  н/м, а доверительный уровень — 95%. Результаты расчетов представлены в таблице 2.3.

Результаты расчетов показывают, что при доверительном уровне равном 0,95% количество НТТМ, принимаемых для проведения исследования на различных этапах эксплуатации в зависимости от пробега и осуществления ремонтов после возникновения отказов, находится в пределах 76...132. Для дальнейших исследований принимаем количество автомобилей равным 100.

Таблица 3.3 – Объем выборки НТТМ для установленного значения ошибки исследования и доверительного уровня

Номер ремонта	Доверительный уровень (Z-значения)	Применяемая ошибка выбранного исследования е	стандартное отклонение σ	n
1	1,96	0,5	2,93	132
2	1,96	0,5	4,85	
3	1,96	1	0,77	
4	1,96	1	0,86	
5	1,96	1	0,86	
6	1,96	1	1,22	
7	1,96	1	1,44	
8	1,96	0,5	2,68	

Для определения ТР НТТМ все данные сведены в таблицу 3.4, в которой произведена группировка по количеству НТТМ с одинаковой трудоёмкостью ремонта на основе данных трудоёмкости ремонта, где n – число НТТМ, в которых наблюдалась трудоёмкость ремонта  $Y_i$ ,  $n = \sum n_i = 100$ ).

Так как, все трудоёмкости ремонтов равнозначные, то следует положить в качестве оценки трудоёмкости ремонта i-го НТТМ величину

$$Y = \sum n_i \cdot y_i / \sum n_i \quad (3.35)$$

Значения произвольного положительного числа  $t$  в зависимости от количества наблюдений

n .....	2	3	4	5	10	20	30
t .....	63,66	9,92	5,84	4,60	3,25	2,86	2,76

$$t_s = t \sqrt{\sum n_i (Y_i - Y)^2 / 90} \quad (3.36)$$

Задав  $I_9 = 0,95$  по таблицам распределения Стьюдента с девятью степенями свободы можно найти что  $t = 2,262$ , где:  $t$  – произвольное положительное число, зависящее от степени свободы и заданной вероятности  $J$ . Произведя необходимые расчеты можно определить предельные абсолютные погрешности определения трудоемкости ремонтов НТТМ, которые представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4. – Средневзвешенная оценка и предельная абсолютная погрешность проведения ремонтов НТТМ (н.ч)

1		2		3	
н/ч	Количество одинаковых норм (н.ч)	н.ч	Количество одинаковых норм (н.ч)	н.ч	Количество одинаковых норм (н.ч)
0,46	4	0,77	5	0,77	5
0,77	7	0,78	8	0,86	8
0,78	7	0,86	25	0,89	5
0,79	27	1	12	1	6
0,89	1	1,05	6	1,18	2
1,00	9	1,18	5	1,22	8
1,05	3	1,22	3	1,4	9
1,12	3	1,4	5	1,44	3
1,18	9	1,44	11	1,96	6
1,22	1	1,96	2	2,28	3
1,40	3	2,48	6	2,48	12
1,44	5	2,5	4	2,5	8
2,18	1	2,63	2	2,63	5
2,20	1	2,68	2	2,68	6
2,48	2	3,09	1	3,39	3
2,63	2	3,39	2	5,07	1
2,68	12	5,62	1	5,62	5
3,39	11			6,48	4
средне- взвешенная оценка	1,301	средне- взвешенная оценка	1,372	средне- взвешенная оценка	2,1903
Предельная абсолютная погрешность	0,310204892	Предельная абсолютная погрешность	0,327133829	Предельная абсолютная погрешность	0,52224579 2

Продолжение таблицы 3.4.

4		5		6	
н.ч	Количество одинаковых норм (н.ч)	н.ч	Количество одинаковых норм (н.ч)	н.ч	Количество одинаковых норм (н.ч)
0,86	2	0,86	2	1,22	1
1	8	1	8	1,44	4
1,12	2	1,22	1	2,28	5
1,18	5	1,44	4	2,68	4
1,22	10	2,28	6	3,39	3
1,4	2	2,48	3	5,08	1
1,44	1	2,5	3	5,62	3
1,96	1	2,68	9	6,48	4
2,28	10	3,09	9	7,3	4
2,48	3	3,39	4		
2,5	2	5,62	2		
2,68	9	6,48	1		
3,09	4	7,3	2		
3,39	5	7,81	4		
5,07	9				
5,62	6				
6,48	13				
Средне-взвешенная оценка	2,9414	средне-взвешенная оценка	3,006	средне-взвешенная оценка	3,877666667
Предельная абсолютная погрешность	0,701334	Предельная абсолютная погрешность	0,716737821	Предельная абсолютная погрешность	0,924574304

Продолжение таблицы 3.4.

7		8	
н.ч	Количество одинаковых норм (н.ч)	н.ч	Количество одинаковых норм (н.ч)
1,44	5	2,68	2
2,68	1	5,08	2
3,39	1		
5,08	1		
5,62	1		
6,48	4		
Средневзвешенная оценка	3,837692308	Средневзвешенная оценка	3,88
Предельная абсолютная погрешность	0,915042988	Предельная абсолютная погрешность	0,925130654

Результаты расчёта отклонения фактических (таблица 3.5) и предельной абсолютной погрешности (рисунок 3.5) при определении трудоемкости ТР НТТМ методом наименьших квадратов показывают, что чем выше «возраст» НТТМ и последовательный номер дискретного состояния ТО и Р НТТМ, тем больше предельная абсолютная погрешность в определении трудоемкости ремонта. То есть, формируется состояние неопределённости, которое не компенсируется применяемым комплексом показателей ТО и Р и системой их корректирования в зависимости от условий эксплуатации. Полученные значения отклонений должны быть учтены при определении производственной программы по ТЭ НТТМ в виде поправочных коэффициентов.

Таблица 3.5 – Результаты расчёта (н.ч)

№	План	Факт
1	1,301	1,3011
2	1,372	2,6731
3	2,190	4,8634
4	2,941	7,8048
5	1,743	9,5485
6	3,877	13,426
7	3,837	17,263
8	3,880	21,143

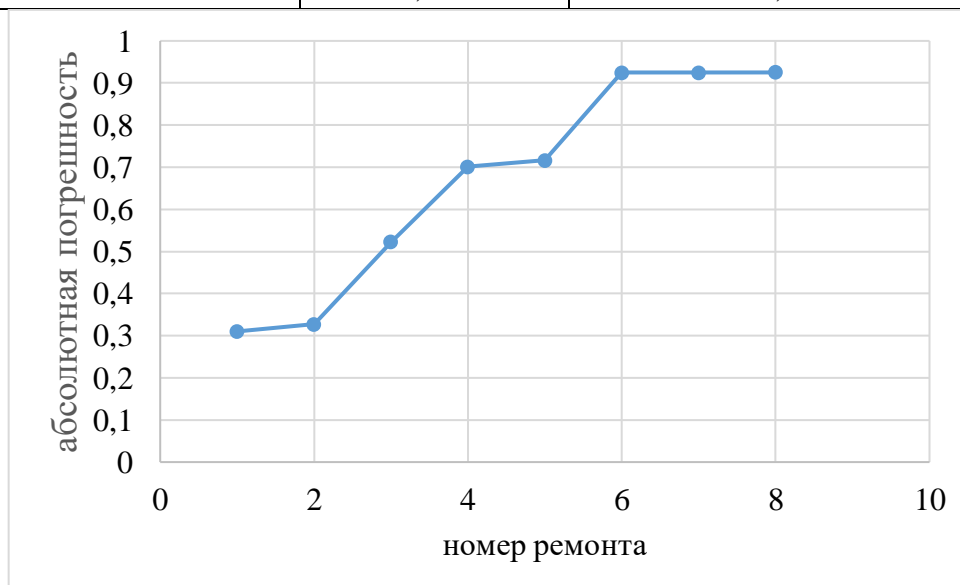


Рисунок 3.5 – Изменения абсолютной погрешности от номера ремонта при определении трудоемкости ТР НТТМ

### 3.3. Выбор критериев оптимизации в системе технического обслуживания и текущего ремонта НТТМ

Как правило, область эффективного применения НТТМ определяют, как экономически целесообразную. Для установления области эффективного применения машин определяют исходные данные по стоимости машин, их производительности, затратам на эксплуатацию и др. Вслед за этим устанавливают зависимость величины основного экономического показателя, принимаемого в качестве единственного критерия оптимальности от одного или нескольких факторов, имеющих переменное значение [64 и мн. другие]. В качестве такого критерия при определении области эффективного применения машин или их комплектов рекомендует принимать размер приведенных удельных затрат -  $P_{з.у}$ .

Эффективной областью применяя НТТМ, как совокупности действия значений переменных факторов, является область, в пределах которой по рассматриваемому варианту приведенные удельные затраты будут ниже этих же затрат по конкурирующим вариантам [51, 29, 107 и др].

Тогда общий вид выражения для расчета приведенных удельных затрат по каждому конкурирующему способу механизации может быть получен

$$P_{з.у} = \frac{E_0}{P_0} + \frac{\Gamma + KE_H}{P_{год}} + \frac{C_{т.э}}{P_ч} + A \quad (3.36)$$

где  $E_0$  и  $\Gamma$  – соответственно единовременные и годовые затраты;  $K$  – капитальные вложения в средства механизации;  $E_H$  – нормативный коэффициент эффективности ( $E_H=0,12$ );  $C_{т.э}$  – текущие эксплуатационные затраты на машино-час работы машины (комплекта);  $P_0$  – объем механизированных работ на объекте, намеченный к выполнению машиной (комплект);  $P_{год}$  и  $P_ч$  – соответственно эксплуатационная годовая и часовая выработка машин (комплекта машин);  $A$  – затраты на единицу продукции, не учтенные в текущих эксплуатационных затратах.

Применение такого подхода имеет значительные недостатки, как теоретического (общего) так и практического (локального) характера:

1. Теоретически замена нескольких критериев одним комплексным приводит к тому, что недостатки присущие одному критерию компенсируются за счёт преимуществ показателей других критериев, что не позволяет достоверно оценить насколько и как можно изменить значения отдельных показателей в целях максимального возможного повышения общей эффективности исследуемых процессов.
2. Практически показатель производительность является не критерием, а величиной приведения, что никак не отражает его характер, как основного потребительского свойства НТТММ.

Между тем, в производительность НТТМ, как свойство само носит сложный характер. В условиях эксплуатации на производительность НТТМ оказывают влияние, помимо конструктивно-технических факторов, такие переменные факторы, как организационно-производственные, природно-климатические, технологические, социально-экономические. Производственные и природно-климатические факторы включают тип сооружения, вид обрабатываемой продукции, рельеф местности, температуру окружающей среды, запыленность воздуха, глубину грунтовых вод и т.п. Организационные и технологические факторы включают обеспечение машин фронтом работ, транспортом, своевременное снабжение топливо - смазочными материалами и водой, увеличение сменности, внедрение прогрессивных технологий, широкое использование экономических методов хозяйствования и т.д. [121]. Как отмечалась выше, различают три основных вида производительности НТТМ.

1. Теоретическая, или конструктивно-расчетная, производительность  
Теоретическая производительность применяется в основном для сравнения машин.
2. Техническая производительность - максимальная производительность землеройной машины в конкретных условиях эксплуатации при полном использовании мощности машины [121]. Техническая производительность в

отличие от конструктивной не постоянна для дорожно-строительной машины и изменяется в зависимости от конкретных условий использования машины.

3. Эксплуатационная производительность представляет собой выработку за рабочее время в конкретных условиях с учетом всех предусмотренных сменным режимом работы неизбежных перерывов.

То есть на производительность НТТМ оказывают влияние [121] многочисленные факторы (природно-климатические, организационные, технологические, социально-экономические и др.), из чего следует, что **производительность является отдельным критерием в исследуемом процессе.**

Проеденные в главе 3 исследования о состоянии основных фактических показателей комплекса ТО и Р НТТМ, как характеризующие основное свойство (критерий НТТМ), следующее:

1. Продолжительность простоев в ТО и ремонте во многих случаях не имеет тесной связи с затратами на их производство ремонтно-профилактических работ.
2. Затраты на ремонт и техническое обслуживание характеризуют эффективность системы поддержания техники в исправном состоянии, принятой изучаемой организации, но не коррелируются с показателями надёжности и производительности.
3. Уровень достоверности информации об использовании механизмов и их затратах на ТО и Р ремонт примерно одинаков во всех исследуемых организациях, где проводились исследования мало зависит от ее полноты и характеризуют информационную ситуацию как неопределённую.

Учитывая выше сказанное, можно сделать вывод – решение объективное задачи повышение эффективности НТТМ требует рассматривать её как многокритериальную задачу в условиях неопределённого состояния информационной среды



Решение поставленной задачи требует структуризации задачи в виде определения параметров оптимизации, оптимизируемых параметров и критериев оптимизации (таблица 3.6).

В соответствии с проеденными исследованиями **оптимизируемыми параметрами являются:**

- 1) Локальная эффективность НТТМ в количественных оценках для отдельных дискретных состояний
- 2) Общая (глобальная) эффективность НТТМ на всем интервале рассматриваемых дискретных состояний;

**Критериями оптимизации являются:**

1. Свойство надежность НТТМ, определяемая показателями ТО и Р НТТМ (интервал ТО и трудоемкость ТР)
2. Эксплуатационная производительность НТТМ.
3. Удельные затраты на эксплуатацию НТТМ.

**Оптимизируемым показателем является интервал ТО НТТМ.**

Таблица 3.6 – Определение параметров оптимизации, оптимизируемых параметров и критериев оптимизации

Дискретные состояния	Критерии оптимизации				Эффективность	
	Надёжность		Производительность	Удельные затраты		
	Интервал ТО*	Удельная трудоёмкость ТР				
1	$C_{11} \cdot X_{11}$	$C_{12} \cdot X_{12}$	$C_{13} \cdot X_{13}$	$C_{14} \cdot X_{14}$	$d_1$	$D_s$
2	$C_{21} \cdot X_{21}$	$C_{22} \cdot X_{22}$	$C_{23} \cdot X_{23}$	$C_{24} \cdot X_{24}$	$d_2$	
...	...	....	...	...		
n	$C_{81} \cdot X_{81}$	$C_{82} \cdot X_{22}$	$C_{83} \cdot X_{83}$	$C_{84} \cdot X_{84}$	$d_8$	
N	$C_{i1} \cdot X_{21}$	$C_{i2} \cdot X_{22}$	$C_{i3} \cdot X_{i3}$	$C_{i4} \cdot X_{i4}$	$d_n$	

\* оптимизируемый параметр

Решение задачи сводится к нахождению  $C_{i1}$  определяющее максимальную эффективность  $d_n$  и  $D_s$

Наиболее распространенные и практикуемые метод решения данного класса задач – методы основанные на основе теории экспертных оценок, отличающиеся

высокой долей субъективизма. Между тем существует аналитический инструментарий решения многокритериальных задач данного класса, позволяющий не прибегать к процедурам субъективного назначения веса отдельных свойств (критериев) [33,41,54,84,111 и др.].

Например, нет необходимости субъективно определять вес каждого показателя, если есть информация о значимости отдельных свойств единицы техники (критериев). Тогда они рассчитываются в соответствии с системой весов Фишберна [75]. В соответствии с данным методом необходимо и достаточно расположить критерии по мере их возрастания или убывания их значимости:

$$K_1 \geq K_2 \geq \dots \geq K_m, \text{ где } j = 1 \dots m \quad (3.37)$$

где  $m$  – количество оцениваемых свойств

Первая формула для оценок по Фишберну имеет вид:

$$c_j = \frac{2(m-j+1)}{m(m+1)}. \quad (3.38)$$

В случае наличия информации о свойствах, позволяющей усилить линейное упорядочивание внутри приоритета свойств следующим образом:

$$\begin{cases} c_1 \geq c_2 + c_3 + \dots + c_m \\ c_2 \geq c_3 + c_4 + \dots + c_m \\ \dots \\ c_{m-1} \geq c_m \end{cases}. \quad (3.39)$$

Тогда значения коэффициентов относительной важности можно представить в виде убывающей геометрической прогрессии, а значения коэффициентов относительной важности рассчитать по второй формуле оценок Фишберна [16]:

$$c_j = \frac{2^{m-i}}{2^{m-1}}, j = 1, 2, \dots, m \quad (3.40)$$

В том случае если мы располагаем информацией о некоторых интервалах возможных значений коэффициентов относительной важности [16] [условно от  $a_j$  до  $b_j$ ], тогда можно применить третью формулу оценок Фишберна.

$$c_j = a_j + \frac{1 - \sum_{j=1}^m a_j}{\sum_{j=1}^m (a_j - b_j)} (a_j - b_j), j = 1, 2, \dots, m. \quad (3.41)$$

где

$$a_j > b_j, i = 1, 2, \dots, j, \quad \sum_{j=1}^m a_j \leq 1, \sum_{j=1}^m b_j \geq 1 \quad (3.42)$$

Основным недостатком системы весов Фишберна является жёсткая формализованная связь между значениями коэффициентов относительной важности, что может увеличивать субъективизм полученного решения. Вариантом решения, позволяющим избежать этого недостатка является применение метода доминирования критериев. Тогда применяется следующий алгоритм решения:

Для каждого сравниваемого варианта  $i$  решается задача линейного программирования [114]:

$$\begin{cases} d_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} c_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n c_j = 1, 0 \leq c_j \leq 1, c_j \geq c_{j+1}, j = \overline{1, n-1}. \end{cases} \quad (3.43)$$

где [114]:

$$c_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j \leq k, \\ 0, & \text{если } j > k, \end{cases} \quad (3.44)$$

где индекс  $k$  определяется из условия  $a_{kj} = \max_j a_{ij}$  [114].

По сравнению с другими аналогичными методами аналитического определения КОВ данный обладает рядом преимуществ:

- 1) нет обязательной необходимости применения методов теории экспертных оценок.
- 2) процедура расчёта формализована, а, следовательно, легко реализуется в программном обеспечении, то есть позволяет оцифровать процесс принятия решения;
- 3) в процедуре расчёта возможно изменение информации (оперативное) о свойствах (критериях) при изменении условий в процессе проведения исследований.

Общая схема повышение эффективности эксплуатации наземных транспортно-технологических машин с применением разработанной модели управления показателями ТО и ТР приведена на рисунке 3.6

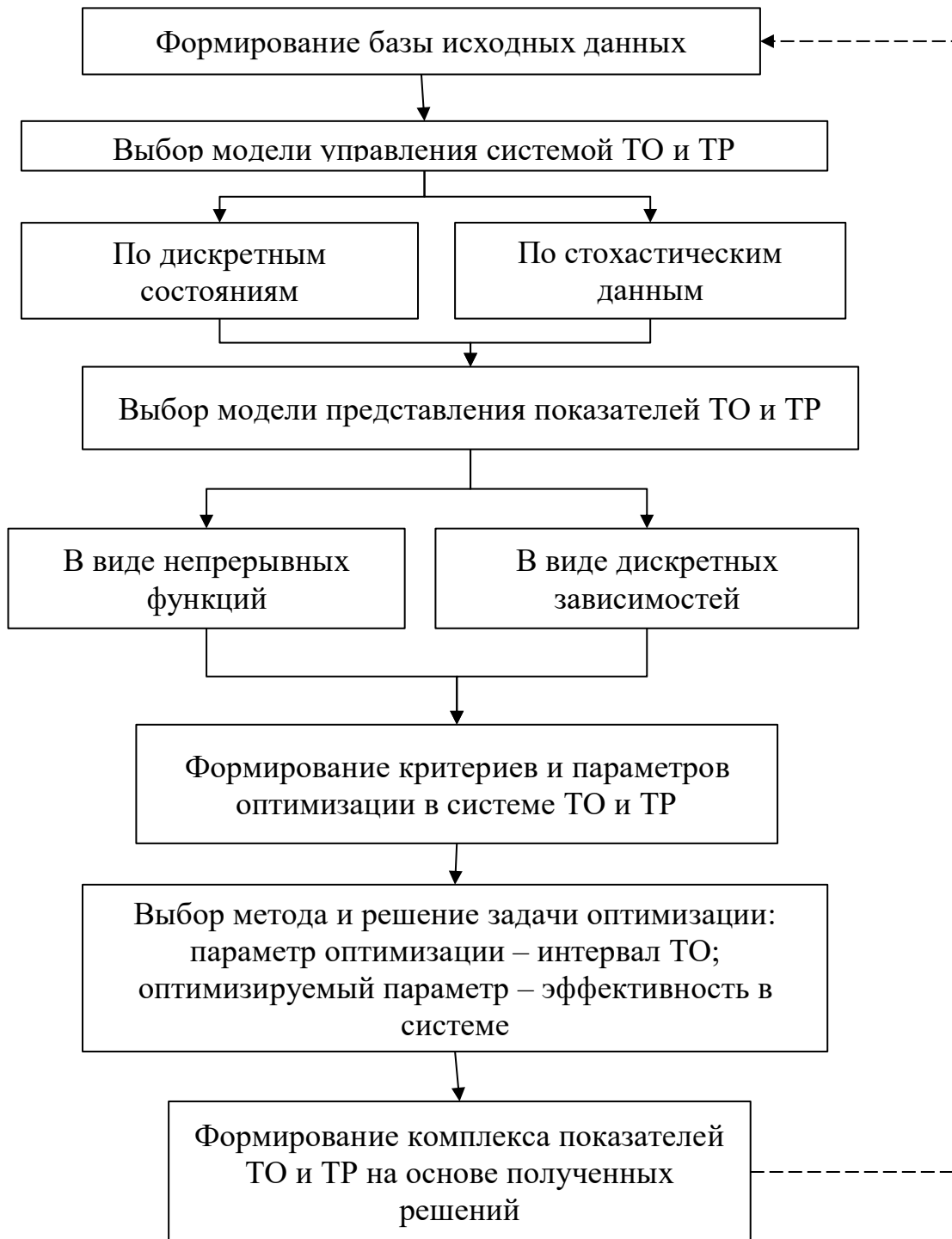


Рисунок 3.6 – Схема повышения эффективности эксплуатации наземных транспортно-технологических машин с применением разработанной модели управления показателями ТО и

### 3.4. Результаты по третьей главе

В третьей главе:

1. На основании исследования статистических материалов доказано, что основными факторами, влияющими на удельные затраты, являются изменение природно-климатических условий, «возраст» машины, периодичность проведения ТО и уровень аварийных отказов. С увеличением возраста до определенного момента удельные приведенные затраты также увеличиваются, а тенденция к увеличению затрат прослеживается слабо, при этом периодичность проведения ТО для каждого года эксплуатации машин может быть различной, причем отклонения от ныне нормативно принятой достигают 25%. Изменяется и наиболее вероятный уровень неплановых ремонтов
2. Определено, что при расчёте интервалов ТО целесообразно применять математический аппарат представления показателей в дискретной форме. Если при обработке статистических данных, полученных методами регрессионного анализа теснота связей в уравнениях регрессии ниже, чем при экспоненциальной зависимости в дискретной форме, тогда принятый интервал ТО требует уточнения, так как определяется погрешность, приводящая к искажению объективных данных при определении производственной программа по ТО и ТР.
3. Рассчитана предельная абсолютной погрешность при определении трудоемкости ТР НТТМ методом наименьших квадратов. Результаты расчёта отклонения фактических и предельной абсолютной погрешности при определении трудоемкости ТР НТТМ методом наименьших квадратов показывают, что чем выше «возраст» НТТМ и последовательный номер дискретного состояния ТО и Р НТТМ, тем больше предельная абсолютная погрешность в определении трудоемкости ремонта. То есть, формируется состояние неопределённости, которое не компенсируется применяемым

комплексом показателей ТО и Р и системой их корректирования в зависимости от условий эксплуатации.

4. Установлены критерии оптимизации в системе технического обслуживания и текущего ремонта НТТМ на основании следующих доказанных положений: продолжительность простоев в ТО и ремонте во многих случаях не имеет тесной связи с затратами на их производство ремонтно-профилактических работ; затраты на ТО и Р характеризуют эффективность системы поддержания техники в исправном состоянии, принятой изучаемой организации, но не коррелируются с показателями надёжности и производительности.
5. Установлено, что объективное задачи повышение эффективности НТТМ требует рассматривать её как многокритериальную задачу в условиях неопределённого состояния информационной среды

На основании проведенных исследований определена модель повышения эффективности эксплуатации НТТМ с применением разработанной модели управления показателями ТО и Р, которой:

- **оптимизируемыми параметрами** в исследуемой системе являются: локальная эффективность НТТМ в количественных оценках для отдельных дискретных состояний и общая (глобальная) эффективность НТТМ на всем интервале рассматриваемых дискретных состояний;
- **критериями оптимизации** являются: свойство надёжность НТТМ, определяемая показателями ТО и Р НТТМ (интервал ТО и трудоемкость ТР); эксплуатационная производительность НТТМ и удельные затраты на эксплуатацию НТТМ.
- **оптимизируемым показателем** является интервал ТО НТТМ.

## ГЛАВА 4. МЕТОДИКА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОДХОДА К ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ТО И Р НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

### 4.1. Разработка алгоритма определения эффективности эксплуатации машины

#### 4.1.1. Алгоритм определения показателей ТО и Р в виде дискретных зависимостей

Формирование исходных производится с учётом принятых величины интервалов дискретных состояний (дискретный цикл) изменения функции зависимости показателей ТО и Р НТТМ. В данном исследовании в качестве величины дискретного цикла (ДЦ) принимается 1 год. В течении 1 ДЦ производится ряд последовательных технических воздействий. Для технического обслуживания ДСМ на базе трактора регулярно через определенные промежутки времени в зависимости от количества мото-часов, проработанных трактором установлены следующие виды планового ТО (рисунок 4.1): ЕТО - ежесменное техническое обслуживание; (ТО-1) - 50; (ТО-2) - 250; (ТО-3) - 1000 моточасов.

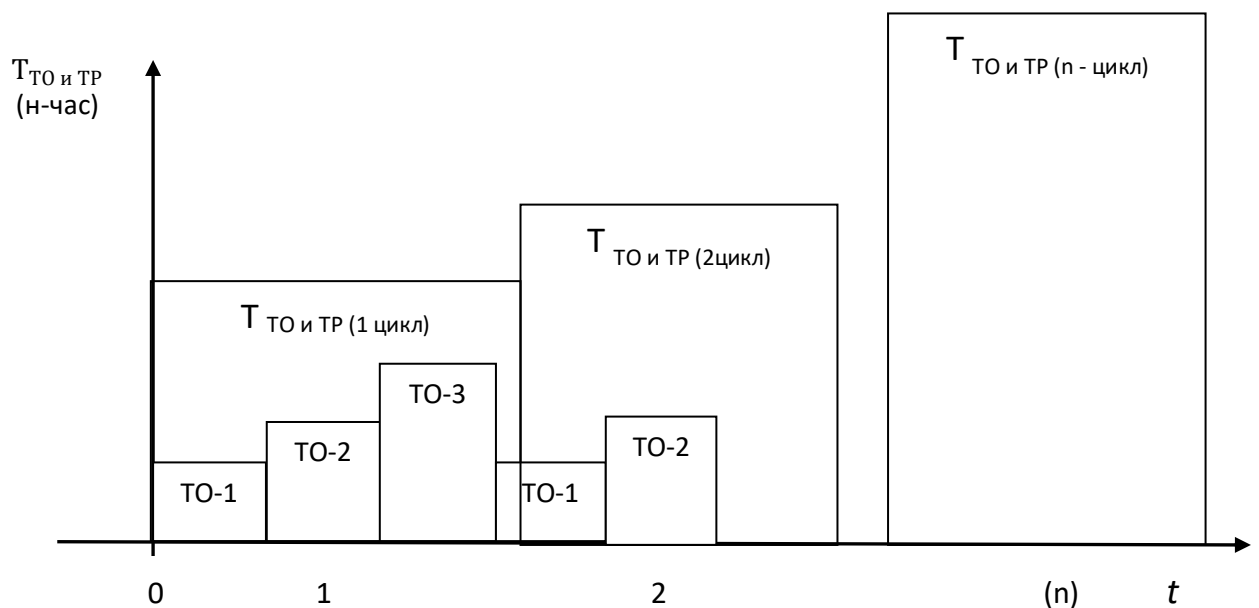


Рисунок 4.1. – Формирование пространства дискретных состояний НТТМ

Простои НТТМ в ТО за дискретный цикл определяются по формуле:

$$N_j^{\text{ТО}} = \sum_{i=1}^n (N_{ji}^{\text{ТО}} \cdot m_{ij}^{\text{ТО}}), \text{ час}, \quad (4.1)$$

где  $N_{ij}^{\text{ТО}}$  – норма простоя НТТМ в ТО;  $i$  – номер ТО (ТО-1, ТО-2, ТО-3) в цикле;  $j$  – номер отдельного НТТМ;  $m_{ij}^{\text{ТО}}$  – количество ТО одного вида за цикл.

Все данные могут определяться, как для отдельной модели НТТМ, так и для отдельного НТТМ (индивидуально), то есть на данном этапе не суммируются по всему парку.

Количество ТО отдельного вида для  $j$ -го НТТМ за цикл ТО [114]:

$$M_{ij}^{\text{ТО}} = A_j^{\text{СП}} \cdot m_{ij}^{\text{ТО}}, \text{ ед.} \quad (4.2)$$

где  $A_j^{\text{СП}}$  – списочное количество  $j$ -го НТТМ, ед.

Простой в  $i$ -ом ТО всех НТТМ одной модели за цикл ТО:

$$T_{ij}^{\text{ТО}} = M_{ij}^{\text{ТО}} \cdot N_{ji}^{\text{ТО}}, \text{ час.} \quad (4.3)$$

Общее время простоя во всех видах ТО НТТМ одной модели за цикл ТО:

$$T_j^{\text{ТО}} = \sum_{i=1}^n T_{ij}^{\text{ТО}}, \text{ час.} \quad (4.4)$$

Дни простоя  $j$ -го НТТМ в ТР за цикл ТО:

$$D_j^{\text{ТР}} = \frac{t_{ji}^{\text{ТР}} \cdot L_{\text{Ц}}}{1000}, \text{ дн. /1000 маш-час.}, \quad (4.5)$$

где  $t_{ji}^{\text{ТР}}$  – удельное значение показателя трудоёмкость ТР, дн./1000 маш-час;  $L_{\text{Ц}}$  – наработка НТТМ за цикл ТО, маш-час.

Удельное значение показателя трудоёмкости ТР  $j$ -го НТТМ:

$$t_{\text{ТР}j} = \frac{10^3}{L_{\text{Ц}}^{\text{ТО}}} \cdot \sum_{k=1}^p T_{\text{ТР}kj}, \text{ н-час/1000 маш-час.} \quad (4.6)$$

где  $p$  – количество воздействий ТР в пределах цикла ТО;

$T_{\text{ТР}ki}$  – трудоёмкость необходимая для устранения отказа [114], норма-час.

Удельная трудоёмкость работ ТР  $j$ -го ДСМ за ДЦ:

$$t_{\text{Ц}j}^{\text{ТР}} = t_j^{\text{ТР}} \cdot \eta_j^{\text{Ц}}, \text{ н-час.} \quad (4.7)$$

где  $\eta_j^{\text{Ц}}$  – коэффициент перехода от цикла ТО к ДЦ определяется по формуле:



$$\eta_j^{\text{Ц}} = \frac{D_j^{\text{Р}} + D_j^{\text{ТО}} + D_j^{\text{ТР}}}{D_j^{\text{Ц}}}, \quad (4.8)$$

где  $D_j^{\text{Р}}$  – дни работы в НТТМ в течении ДЦ, дн.;  $D_j^{\text{Ц}}$  – количество дней в ДЦ, дн.

Время простоев  $j$ -го НТТМ в ТО за ДЦ:

$$T_{\text{Ц}j}^{\text{ТО}} = \eta_j^{\text{Ц}} \cdot T_j^{\text{ТО}}, \text{ час.} \quad (4.9)$$

где  $T_j^{\text{ТО}}$  – время простоев  $j$ -го НТТМ в ТО за цикл ТО, час.

Время простоев в ТО всех НТТМ за ДЦ:

$$T_{\text{Ц}}^{\text{ТО}} = \sum_{j=1}^m T_{\text{Ц}j}^{\text{ТО}}, \text{ час.} \quad (4.9)$$

Объём работ (трудоемкость) по ТО  $j$ -го НТТМ:

$$t_j^{\text{ТО}} = \sum_{i=1}^n t_{ij}^{\text{ТО}} \cdot m_{ij}^{\text{ТО}}, \text{ н·час,} \quad (4.10)$$

где  $m_{ij}^{\text{ТО}}$  – количество обслуживаний соответствующего вида за ТО цикл, ед.;  $t_{ij}^{\text{ТО}}$

– норматив ТО, н·час.

Цикловая трудоемкость работ [114] по ТО  $j$ -го НТТМ:

$$t_{\text{Ц}j}^{\text{ТО}} = t_j^{\text{ТО}} \cdot A_j^{\text{СП}}, \text{ н·час/цикл ТО.} \quad (4.11)$$

Трудоемкость работ ТО  $j$ -го НТТМ за ДЦ:

$$t_{\text{Ц}j}^{\text{ТО}} = t_{\text{Ц}j}^{\text{ТО}} \cdot \eta_j^{\text{Ц}}, \text{ н·час/ДЦ} \quad (4.12)$$

где  $\eta_j^{\text{Ц}}$  – коэффициент перехода от цикла ТО к ДЦ.

Объём работ (трудоемкость ТО) парка НТТМ за ДЦ:

$$t_{\text{Ц}}^{\text{ТО}} = \sum_{j=1}^m t_{\text{Ц}j}^{\text{ТО}}, \text{ н·час/ДЦ} \quad (4.13)$$

Объём работ (трудоемкость) ТР  $j$ -го НТТМ за ДЦ:

$$T_j^{\text{ТР}} = L_{\text{Ц}j} \cdot t_{\text{Ц}j}^{\text{ТР}}, \text{ маш·час.} \quad (4.14)$$

Разработанный алгоритм определения показателей ТО и Р в виде дискретных зависимостей позволяет эффективно управлять процессами ТЭ НТТМ в условиях республики Тыва по следующими причинами. Различают два основных способа расчёт показателей ТЭ.

1. **По дискретным состояниям.** Данная схема применяется при интенсивной эксплуатации техники в условиях, которые превышают установленные требования к надежности для заданных условий эксплуатации [119].

2. **Метод случайного списания.** определяется вариацией фактической наработки единицей техники до её списания. По данной схеме управление ТЭ единицы техники производится на основании регулярного контроля за необходимыми технико-эксплуатационными показателями работы, например, по накопленному расходу запасных частей, по уменьшения производительности работы, по сокращению прибыли и т.д. [42]. Анализ состояния показателей ТЭ НТТМ показал значительные абсолютные погрешности, возникающие в процессе контроля показателей ТЭ в силу объективных причин, обусловленных условиями эксплуатации НТТМ в республике Тыва.

Учитывая сказанное, что модель дискретного управления ТЭ НТТМ в большей степени соответствует условиям работы, так как дискретная схема применяется при интенсивной эксплуатации техники в условиях, которые превышают установленные требования к надежности для заданных условий эксплуатации, что соответствует нагрузкам на НТТМ.

#### **4.1.2. Определение коэффициента корректирования трудоёмкости ТР НТТМ в условиях Республики Тыва**

Проведенные исследования и разработанный алгоритм позволили определить возможные отклонения в показателях ТЭ, вызванные специфическими условиями работы НТТМ. На рисунке 4.2 приведены данные изменения значений показателя трудоёмкость ТР.

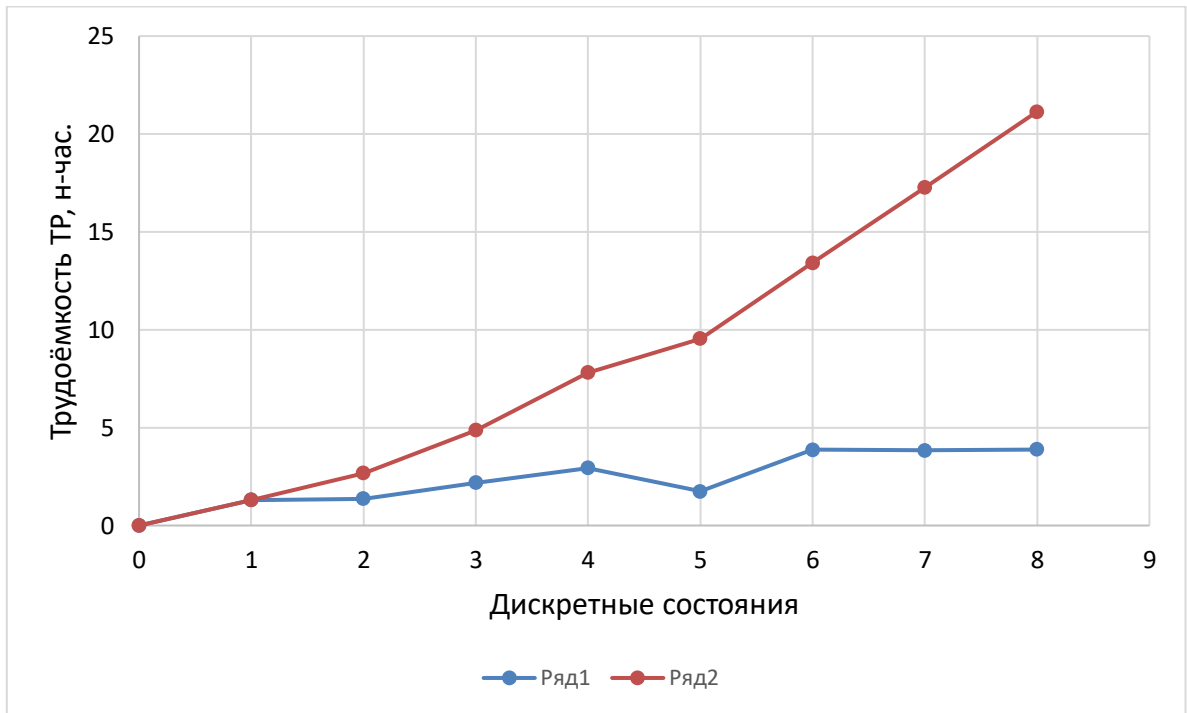


Рисунок 4.2 – Изменения значений показателя трудоёмкость ТР в зависимости от дискретных состояний:

Проанализируем рисунок 4.2.

- 1) «Ряд 1» - фактическая средняя трудоёмкость непланового ТР;
- 2) «Ряд 2» - условная предельная фактическая трудоёмкость непланового ТР, рассчитанная с учётом абсолютной погрешности измерений, которая в свою очередь вызвана наличием значительной степени неопределённости в системе контроля за техническим состоянием НТТМ. То есть это фактические показатели трудоемкости ТР в случае если бы техника работа с той же интенсивность на протяжении всего срока эксплуатации и реализовывала изначально (дискретное состояние 1) показатели производительности, надёжности и т.д.

Снизить степень неопределённости в исследуемой системе управления технических показателей НТТМ возможно введением коэффициента корректирования показателей ТЭ (трудоёмкость ТР), учитывающие специфические условия эксплуатации. В таблице 4.1 приведены исходные данные

для определения коэффициента корректирования показателя трудоёмкость ТР НТТМ в условиях Республики Тува

Таблица 4.1 – Приведены исходные данные для определения коэффициента корректирования показателя трудоёмкость ТР НТТМ в условиях Республики Тыва

№ Дискретного состояния	Фактические данные	Условные фактические данные	Относительное отклонение $\Delta_{тр}$	Приведенное отклонение $\Delta_{тр}$
1	1,301	1,3011	1,000077	1E-04
2	1,372	2,6731	1,948324	0,65055
3	2,19	4,8634	2,220731	0,891133
4	2,941	7,8048	2,653791	1,21595
5	1,743	9,5485	5,478199	1,5611
6	3,877	13,426	3,462987	1,5915
7	3,837	17,263	4,499088	1,918
8	3,88	21,143	5,449227	2,157875

Обобщенный коэффициент корректирования показателя трудоёмкость ТР НТТМ [ $K_{ТР}$ ] (таблица 4.2 и рисунок 4.3) учитывает совокупность влияния специфических особенностей в исследуемых условиях, таких как:

1. Климатические факторы, характеризующиеся продолжительностью воздействия отрицательных температур воздуха; сильными и частыми ветрами; большим перепадом температур в течение суток и года; большим снежным покровом в зимний период и заболоченным ландшафтом летом; наличием мерзлых и вечномёрзлых грунтов значительных слоев; образованием густых туманов при температуре ниже  $(-35) - (-40) ^\circ\text{C}$ ; наличием полярной ночи, когда работы возможно только при искусственном освещении и т.д.
2. Факторы рельефа местности, учитываемые с помощью коэффициента атмосферного давления; коэффициента, учитывающего понижение температуры по мере увеличения высоты над уровнем моря; коэффициента изменения скорости ветра по мере увеличения высоты над уровнем моря и т.д.

3. Факторы, определяемые существующей практикой технической эксплуатации механизмов и ремонтных работ и организации его работы.

Таблица 4.2 – Определение коэффициента корректирования показателя трудоёмкость ТР НТТМ

Приведенное отклонение $\Delta_{тр}$	Приращение $\Delta_{тр}$	Дискретное значение $K_{ТР}$	Значение $\overline{K_{ТР}}$ <b>1,269722</b>
1E-04	0	1	
0,65055	0,65045	1,65045	
0,891133	0,240583	1,240583	
1,21595	0,324817	1,324817	
1,5611	0,34515	1,34515	
1,5915	0,0304	1,0304	
1,918	0,3265	1,3265	
2,157875	0,239875	1,239875	

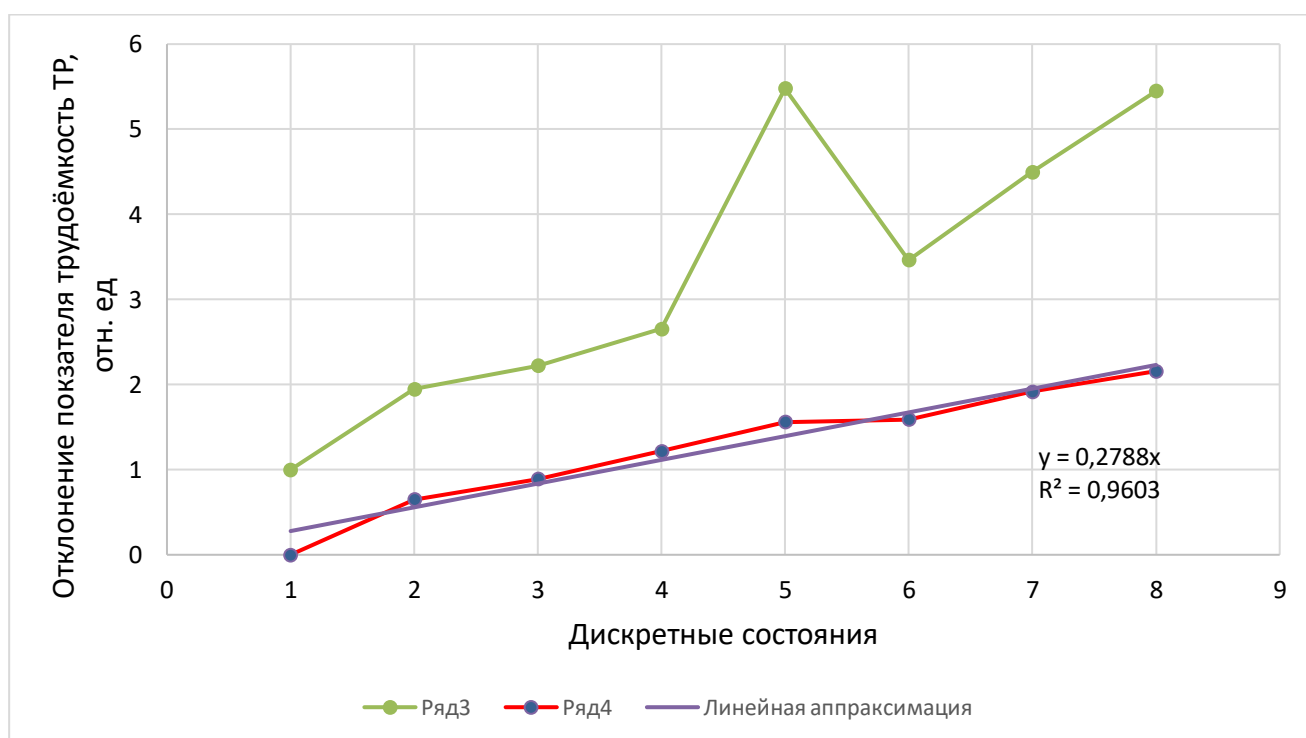


Рисунок 4.2 – Определение коэффициента корректирования показателя трудоёмкость ТР НТТМ:

«ряд 1» - относительное отклонение  $\Delta_{тр}$ ;  
«ряд 2» - приведенное отклонение  $\Delta_{тр}$

## **4.2. Разработка методики оценки эффективности использования машин с учетом установленных закономерностей изменения технико-экономических показателей в зависимости от наработки с начала эксплуатации**

**Основой методики** оценки эффективности использования машин с учетом установленных закономерностей изменения технико-экономических показателей в зависимости от наработки с начала эксплуатации [47] является модель последовательного (по дискретным состояниям) определения эффективности ДСМ по установленным критериям эффективности в количественных оценках.

**Результатом моделирования** является получения зависимостей изменения эффективности НТТМ от начала эксплуатации.

**Методами моделирования** и поиска решений в методике являются методы решения многокритериальных задач в условиях неопределенного состояния внешней среды.

**Основными задачами** методики являются:

1. Получение объективных количественных оценок состояния НТТМ в отдельных дискретных состояниях
2. Определение зависимостей, характеризующих интенсивность изменения технического состояния НТТМ в зависимости от срока эксплуатации
3. Определение значений оптимизируемого параметра интервал ТО, позволяющих минимизировать интенсивность изменения (ухудшения) технического состояния НТТМ.

**Результатом применения** методики будет получение значений оптимизируемого параметра, достоверно повышающего эффективность эксплуатации НТТМ в заданном пространстве измерений и ограничений исследуемой среды (условий эксплуатации).

#### 4.2.1. Модель определения эффективности НТТМ в отдельных дискретных состояниях

Для определение текущей (фактической) эффективности НТТМ в отдельных дискретных состояниях формируется исходная матрица эффективностей, содержащее значения локальных показателей критериев оптимизации в отдельных дискретных состояниях исследуемого процесса – эффективности НТТМ.

Общий вид матрицы эффективностей для восьми локальных дискретных состояний представлен в виде таблицы 4.3, а матрица эффективностей локальных дискретных состояний с данными, полученными в процессе исследования представлена в виде таблицы 4.4. В таблице 4.5 определяется целеполагание в сформированной матрице эффективностей.

Таблица 4.3 – Общий вид матрицы эффективностей

Дискретные состояния	Интервал ТО*	Удельная трудоёмкость ТР	Производительность (наработка/дискретное состояние)	Удельные затраты
1	$a_{11}$	$a_{11}$	$a_{11}$	$a_{11}$
2	$a_{11}$	$a_{11}$	$a_{11}$	$a_{11}$
...	...	....	...	...
8	$a_{11}$	$a_{11}$	$a_{11}$	$a_{11}$

\* оптимизируемый параметр

Таблица 4.4 – Матрица эффективностей локальных дискретных состояний с данными, полученными в процессе исследования

n	Интервал ТО*	Удельная трудоёмкость ТР	Наработка	Удельные затраты
1	306	1,3011	3707	0,48
2	309	2,6731	3169	0,58
3	282	4,8634	2698	0,59
4	276	7,8048	2984	0,84

5	244	9,5485	3606	0,88
6	263	13,426	3219	0,82
7	201	17,263	3086	0,86
8	306	21,143	3329	0,97

Таблица 4.5 – Определение обозначение и целеполагания в исследовании

n	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$
D0	306	1,301	3707	0,48
D1	309	2,673	3169	0,58
D2	282	4,863	2698	0,59
D3	276	7,804	2984	0,84
D4	244	9,548	3606	0,88
D5	263	13,426	3219	0,82
D6	201	17,263	3086	0,86
D7	222	21,143	3329	0,97
Целеполагание	max	min	max	min

Следящий этап – нормирование значений показателей по отдельным эффективности с учётом установленного целеполагания, так значения показателей могут несопоставимы по абсолютной величине.

Формируются элементы матрицы эффективностей ( $\delta_{ij}$ ) численных значений показателей (таблица 4.6), представленные в относительных единицах, вычисленных по следующей формуле:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} \frac{a_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} a_{ij}}, & \text{если } a_{ij} \rightarrow \max, \\ \frac{\min_{1 \leq i \leq m} a_{ij}}{a_{ij}}, & \text{если } a_{ij} \rightarrow \min, \end{cases} \quad (4.15)$$

Таблица 4.6 – Нормированная матрица эффективностей

D0	0,145	0,436	0,144	0,185
D1	0,147	0,213	0,123	0,153
D2	0,134	0,117	0,105	0,151
D3	0,131	0,073	0,116	0,106
D4	0,116	0,059	0,140	0,101
D5	0,125	0,042	0,125	0,108



D6	0,096	0,033	0,120	0,103
D7	0,105	0,027	0,129	0,092
Целеполагание	max	min	max	min

Далее для каждого дискретного состояния ( $n = \overline{1, i}$ ) решается задача линейного программирования:

$$\begin{cases} D_i = \sum_{j=1}^n \delta_{ij} c_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^m c_j = 1, 0 \leq c_j \leq 1, c_j \geq c_{j+1}, j = \overline{1, m-1}. \end{cases} \quad (4.16)$$

Ввиду высокой трудоёмкости вычислительных процедур для решения поставленных задач применяется специализированное программное обеспечение (ПО). Результаты расчёта текущей эффективности системы ТО и Р НТТМ представлены на рисунке 4.3.

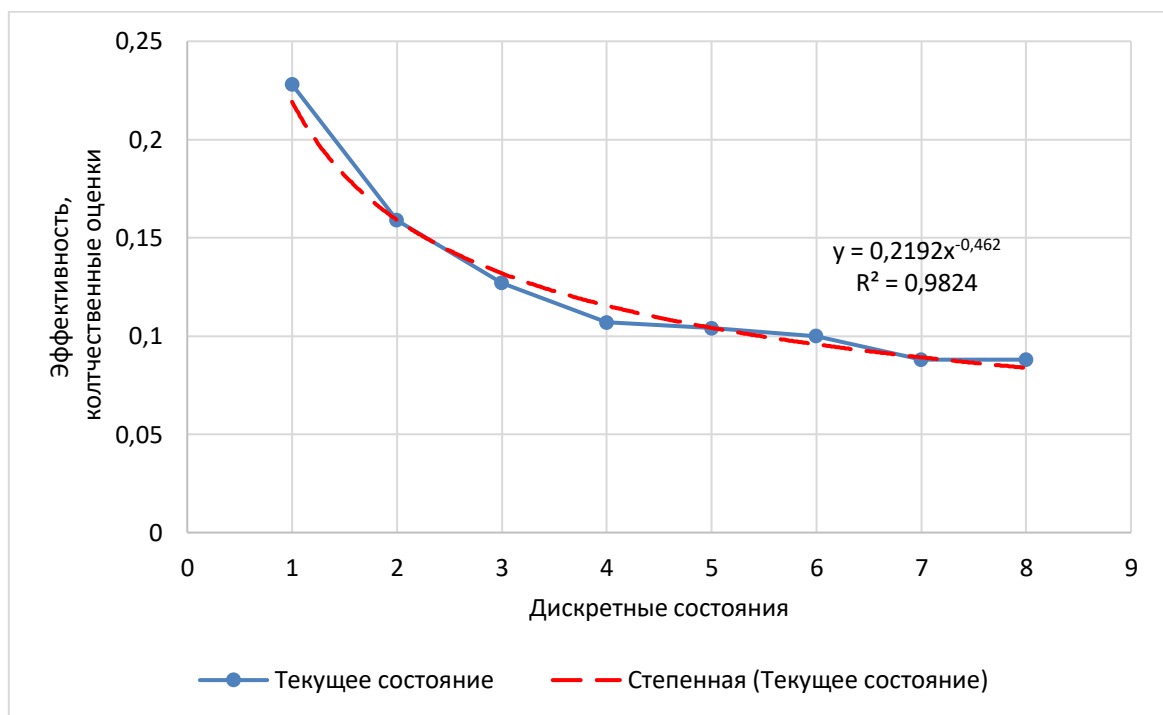


Рисунок 4.3 – График зависимости текущей эффективности системы ТО и Р для отдельных дискретных состояний

#### 4.2.2. Оптимизация системы ТО и ТР ДСМ на основе установленных закономерностей изменения технико-экономических показателей

Процедура оптимизации заключается в определении

$$\Delta_{ij} = c_{ij}^{max} - c_{ij}^T, \quad (4.17)$$

при соблюдении условий:

$$d_i = \sum_{j=1}^4 \delta_{ij} c_j \rightarrow \max, \quad (4.19)$$

$$\sum_{j=1}^4 \Delta_{ij} c_j = 1, \quad 0 \leq \Delta_{ij} c_j \leq 1, \quad (4.20)$$

где

$$\Delta_{ij} c_j^{max} = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j \leq k, \\ 0, & \text{если } j > k, \end{cases} \quad (4.18)$$

где индекс  $k$  определяется из условия  $\delta_{kj} = \max \delta_{ij}$ .

Сравнение результатов расчёта в виде графиков текущего состояния и оптимизированного состояния ТО и Р по критерию «Интервал ТО» приведено на рисунке 4.4.

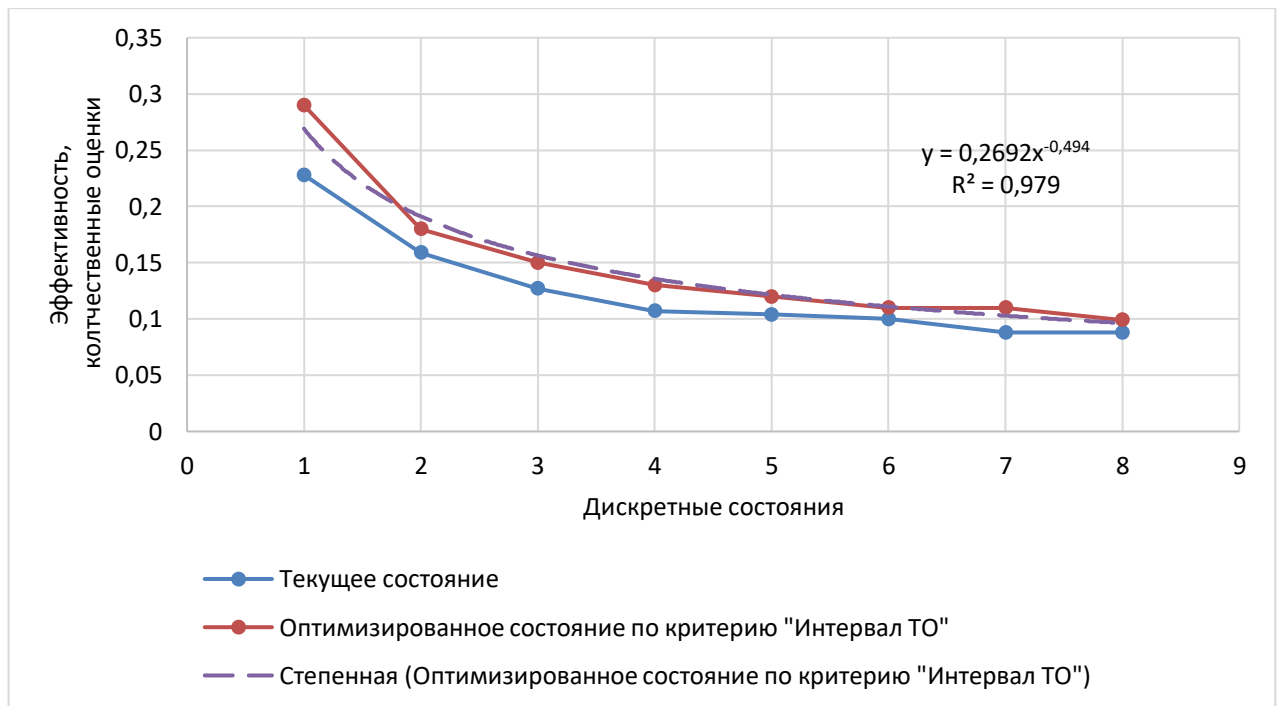


Рисунок 4.4 – Сравнение графиков зависимости текущей состояния и оптимизированного состояния системы ТО и Р для отдельных дискретных состояний

Следует отметить, что применяемые методы решения многокритериальных задач в условиях неопределенного состояния среды исследования позволяют вести поиск эффективного решения по любому из оптимизируемых параметров.

Результаты расчёта оптимизированных состояний, для различных параметров оптимизации приведены в таблице 4.7.

Например, (см. таблицу 4.7) если мы рассматриваем вариант решения №1, тогда в качестве оптимизируемого (доминирующего в системе) параметра оптимизации предлагается интервал ТО. Далее №7,13,19 (выделены) соответственно - номера решений если в качестве исследуемых параметров предлагаются соответственно: трудоёмкость ТР, наработка НТТМ или удельные затраты.

Таблица 4.7. – Результаты расчёта эффективностей отдельных дискретных состояний

№	Вариант поиска решения	Расчетная эффективность в отдельных дискретных состояниях
1	<b>P1&gt;P2&gt;P3&gt;P4</b>	<b>D0=0.29; D1=0.18; D2=0.13; D3=0.13; D4=0.11; D5=0.13; D6=0.08; D7=0.09;</b>
2	P1>P2>P4>P3	D0=0.29; <b>D1=0.18;</b> D2=0.13; D3=0.13; D4=0.09; D5=0.13; D6=0.08; D7=0.07;
3	P1>P3>P2>P4	D0=0.14; D1=0.14; D2=0.13; D3=0.13; D4=0.11; D5=0.13; D6=0.08; D7=0.09;
4	P1>P3>P4>P2	D0=0.14; D1=0.14; D2=0.13; D3=0.13; <b>D4=0.12;</b> D5=0.13; D6=0.11; D7=0.11;
5	P1>P4>P3>P2	D0=0.17; D1=0.15; D2=0.13; D3=0.13; D4=0.12; D5=0.13; D6=0.11; D7=0.11;
6	P1>P4>P2>P3	D0=0.17; D1=0.15; D2=0.13; D3=0.13; D4=0.09; D5=0.13; D6=0.08; D7=0.07;
7	<b>P2&gt;P1&gt;P3&gt;P4</b>	<b>D0=0.29; D1=0.18; D2=0.13; D3=0.07; D4=0.11; D5=0.04; D6=0.08; D7=0.09;</b>
8	P2>P1>P4>P3	D0=0.29; D1=0.18; D2=0.13; D3=0.07; D4=0.09; D5=0.04; D6=0.08; D7=0.07;
9	P2>P3>P1>P4	D0=0.29; D1=0.17; D2=0.13; D3=0.07; D4=0.11; D5=0.04; D6=0.08; D7=0.09;
10	P2>P3>P4>P1	D0=0.29; D1=0.17; D2=0.13; D3=0.07; D4=0.10; D5=0.04; D6=0.09; D7=0.08;
11	P2>P4>P3>P1	D0=0.31; D1=0.18; D2=0.13; D3=0.07; D4=0.10; D5=0.04; D6=0.09; D7=0.08;
12	P2>P4>P1>P3	D0=0.31; D1=0.18; D2=0.13; D3=0.07; D4=0.09; D5=0.04; D6=0.08; D7=0.07;
13	<b>P3&gt;P2&gt;P1&gt;P4</b>	<b>D0=0.29; D1=0.17; D2=0.13; D3=0.12; D4=0.11; D5=0.13; D6=0.08; D7=0.09;</b>
14	P3>P2>P4>P1	D0=0.29; D1=0.17; D2=0.13; D3=0.12; D4=0.10; D5=0.13; D6=0.09; D7=0.08;
15	P3>P1>P2>P4	D0=0.14; D1=0.14; D2=0.13; D3=0.12; D4=0.11; D5=0.13; D6=0.08; D7=0.09;
16	P3>P1>P4>P2	D0=0.14; D1=0.14; D2=0.13; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.13; D6=0.11; D7=0.11;
17	P3>P4>P1>P2	D0=0.16; D1=0.14; D2=0.13; D3=0.12; D4=0.12; D5=0.13; D6=0.11; D7=0.11;
18	P3>P4>P2>P1	D0=0.16; D1=0.14; D2=0.13; D3=0.12; D4=0.10; D5=0.13; D6=0.09; D7=0.08; 1
19	<b>P4&gt;P2&gt;P3&gt;P1</b>	<b>D0=0.31; D1=0.18; D2=0.13; D3=0.11; D4=0.10; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.08;</b>
20	P4>P2>P1>P3	<b>D0=0.31;</b> D1=0.18; D2=0.13; D3=0.11; D4=0.09; D5=0.11; D6=0.08; D7=0.07; 1
21	P4>P3>P2>P1	D0=0.16; D1=0.14; D2=0.13; D3=0.11; D4=0.10; D5=0.11; D6=0.09; D7=0.08; 1
22	P4>P3>P1>P2	D0=0.16; D1=0.14; D2=0.13; D3=0.11; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.11; D7=0.11; 1

23	P4>P1>P3>P2	D0=0.17; D1=0.15; D2=0.13; D3=0.11; D4=0.12; D5=0.11; D6=0.11; D7=0.11; 1
24	P4>P1>P2>P3	D0=0.17; D1=0.15; D2=0.13; D3=0.11; D4=0.09; D5=0.11; D6=0.08; D7=0.07; 1

На рисунке 4.5 приведено сравнение зависимостей изменения эффективности системы ТО и Р НТТМ по различным критериям оптимизации

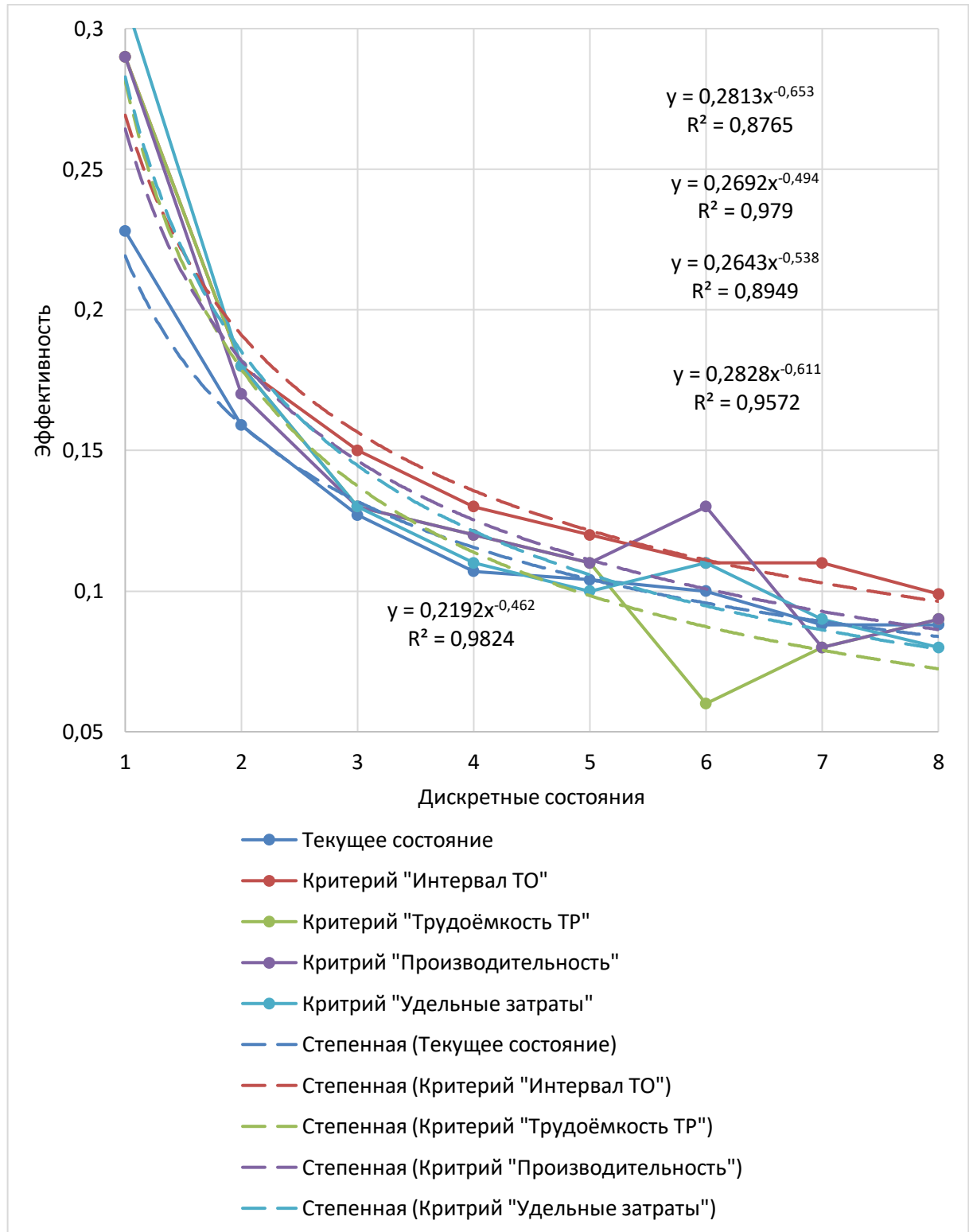


Рисунок 4.5 – Графики изменения эффективности системы ТО и ТР в зависимости от установленного доминирующего критерия

В таблице 4.8 приведены результаты расчёта локальной и общей эффективностей, а также полученные аналитические зависимости изменения эффективности в количественных оценках для различных параметров оптимизации в системе ТО и Р НТТМ

Таблица 4.8 – Результаты расчёта локальной и общей эффективностей, аналитические зависимости изменения эффективности в количественных оценках

№ дискретного состояния	Эффективность				
	Текущая	Результаты оптимизации (варианты параметров оптимизации)			
		Интервал ТО	Трудоёмкость ТР	Производительность	Удельные затраты
1	0,228	0,29	0,29	0,29	0,31
2	0,159	0,18	0,18	0,17	0,18
3	0,127	0,15	0,13	0,13	0,13
4	0,107	0,13	0,12	0,12	0,11
5	0,104	0,12	0,11	0,11	0,1
6	0,1	0,11	0,06	0,13	0,11
7	0,088	0,11	0,08	0,08	0,09
8	0,088	0,099	0,09	0,09	0,08
	1,001	1,189	1,06	1,12	1,11
Аналитическое выражение	$y = 0,2192x^{-0,462}$	$y = 0,2692x^{-0,494}$	$y = 0,2813x^{-0,653}$	$y = 0,2643x^{-0,538}$	$y = 0,2828x^{-0,611}$
Общая эффективность	1,001	1,189	1,060	1,120	1,110

Анализ графиков на рисунке 4.5 и результатов расчёта, приведенных в таблице 4.8 показывает, что применение разработанной методики индивидуального подхода к технико-экономической оценке эффективности процессов ТО и Р наземных транспортно-технологических машин, основанной на дискретном представлении показателей ТО и Р и методах решения многокритериальных задач в условиях неопределенного состояния внешней среды позволяет повысить эффективность системы ТР и Р НТТМ в 1,2 если в качестве оптимизируемого параметра принимается показатель - интервал ТО.

### 4.3 Результаты по четвертой главе

В четвертой главе:

1. Разработан алгоритм определения эффективности определения показателей ТО и Р в виде дискретных зависимостей. Разработанный алгоритм определения показателей ТО и Р в виде дискретных зависимостей позволяет эффективно управлять процессами ТЭ НТТМ в условиях республики Тыва, так данная схема является наиболее эффективной при интенсивной эксплуатации техники в условиях, которые превышают установленные требования к надежности для заданных условий эксплуатации.
2. Определен коэффициент корректирования трудоёмкости ТР НТТМ в условиях Республики Тыва, позволяющий снизить степень неопределённости в исследуемой системе управления технических показателей НТТМ.
3. Разработана методика оценки эффективности использования машин с учетом установленных закономерностей изменения технико-экономических показателей в зависимости от наработки с начала эксплуатации. Методами моделирования и поиска решений в методике являются методы решения многокритериальных задач в условиях неопределенного состояния внешней среды. Результатом применения методики является получение значений оптимизируемого параметра, достоверно повышающего эффективность эксплуатации НТТМ в заданном пространстве измерений и ограничений исследуемой среды (условий эксплуатации).

Представленные результаты расчётов свидетельствуют, что применение разработанной методики индивидуального подхода к технико-экономической оценке эффективности процессов ТО и Р НТТМ, основанной на дискретном представлении показателей ТО и Р и методах решения многокритериальных задач в условиях неопределенного состояния внешней среды, позволяет повысить

эффективность системы ТР и Р НТТМ в 1,2 если в качестве оптимизируемого параметра принимается показатель - интервал ТО.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Анализ комплекса ТЭ НТТМ в Республике Тыва показал низкую эффективность эксплуатации и процессов ТО и Р НТТМ из-за особенностей природно-климатических условий, а именно из-за жесткости климатических факторов по отношению к техническим средствам [36], а также из-за почти полной изношенности парка техники. Исследования проведенные в дорожно-строительных организациях Республики Тыва установили, что несовершенство СТЭ проявляется в: нарушении периодичности и полноты технических воздействий; низком качестве мероприятий по обеспечению работоспособности строительных машин; неразвитости средств контроля работоспособности; низком уровне материально-технического [35] обеспечения. Система эксплуатации НТТМ в республике несовершенна и местами вообще не соблюдается, нет четкой организации эксплуатационных работ. Работы по ТО и ремонту строительных машин все еще имеет низкий уровень механизации, что увеличивает трудоемкость работ [121] ТО и Р, а качество эксплуатации низкое, из-за недоучетов приспособленности техники к природно-климатическим факторам республики [121]. В результате недостаточно эффективного технического обслуживания и ремонта имеет место следующее:

- рост текущих затрат ресурсов на проведение операций по ТО и Р;
- увеличение капитальных вложений в ремонтно-эксплуатационную базу;
- уменьшение ресурсов и сроков службы машин;
- необоснованное увеличение численности парка машин [52].

Чтобы решить указанные проблемы необходимо повышение эффективности эксплуатации комплекса НТТМ, а задача поддержания НТТМ в работоспособном состоянии является одной из наиболее актуальной и востребованной практикой.

Проведенный теоретический анализ сложной схемы комплексного влияния основных климатических факторов и атмосферных явлений [35] на надежность машин, показал, что отличительной особенностью и основной трудностью

применения инструментов математического моделирования исследуемых процессов является то, что с увеличением срока эксплуатации НТТМ в предприятиях Республики Тыва увеличиваются интервалы производимых работ по ТР, в связи со значительными непроизводственными простоями техники. Поэтому определяется необходимость разрабатывать модели исследования процессов ТО и Р, позволяющие искусственно позволяющий сократить число опытов не за счёт сокращения числа факторов, а за счет аналитических методов снижения неопределённости в исследуемой системе.

Для достижения цели исследования повышения эффективности эксплуатации наземных транспортно-технологических машин в климатических условиях Республики Тыва выполнено следующее:

1. Доказано, что основными факторами, влияющими на удельные затраты, являются изменение природно-климатических условий, «возраст» машины, периодичность проведения ТО и уровень аварийных отказов.
2. Определено, что при расчёте интервалов ТО целесообразно применять математический аппарат представления показателей в дискретной форме.
3. Рассчитана предельная абсолютной погрешность при определении трудоемкости ТР НТТМ методом наименьших квадратов. Результаты расчёта отклонения фактических и предельной абсолютной погрешности при определении трудоемкости ТР НТТМ методом наименьших квадратов показывают, что чем выше «возраст» НТТМ и последовательный номер дискретного состояния ТО и Р НТТМ, тем больше предельная абсолютная погрешность в определении трудоемкости ремонта автомобиля. То есть, формируется состояние неопределённости, которое не компенсируется применяемым комплексом показателей ТО и Р и системой их корректирования в зависимости от условий эксплуатации.
4. Установлены критерии оптимизации в системе ТО и Р НТТМ и определено, что объективное решение задачи повышение эффективности НТТМ требует рассматривать её как многокритериальную задачу в условиях неопределённого состояния информационной среды



На основании проведенных исследований была определена комплексная модель повышения эффективности эксплуатации НТТМ

1. Разработан алгоритм определения эффективности определения показателей ТО и Р в виде дискретных зависимостей. Разработанный алгоритм определения показателей ТО и Р в виде дискретных зависимостей позволяет эффективно управлять процессами ТЭ НТТМ в условиях республики Тува, так данная схема является наиболее эффективной при интенсивной эксплуатации техники в условиях, которые превышают установленные требования к надежности для заданных условий эксплуатации.
2. Определен коэффициент корректирования трудоёмкости ТР НТТМ в условиях Республики Тува, позволяющий снизить степень неопределённости в исследуемой системе управления технических показателей НТТМ
3. Разработана методика оценки эффективности использования машин с учетом установленных закономерностей изменения технико-экономических показателей в зависимости от наработки с начала эксплуатации.
4. Определено, что результатом применения методики является получение значений оптимизируемого параметра, достоверно повышающего эффективность эксплуатации НТТМ в заданном пространстве измерений и ограничений исследуемой среды (условий эксплуатации).

Проведенные экспериментальные исследования и представленные результаты расчётов свидетельствуют, что применение разработанной методики индивидуального подхода к технико-экономической оценке эффективности процессов ТО и Р НТТМ, основанной на дискретном представлении показателей ТО и Р и методах решения многокритериальных задач в условиях неопределенного состояния внешней среды, позволяет повысить эффективность системы ТР и Р НТТМ в 1,2 если в качестве оптимизируемого параметра принимается показатель - интервал ТО

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

- АТС – автотранспортное средство
- АТП – автотранспортное предприятие
- ВН и Р – ведомственные нормы и расценки
- ВРП – валовый региональный продукт
- ГСМ – горюче-смазочные материалы
- ДВС – двигатели внутреннего сгорания
- ДТ – дизельное топливо
- ДЦ – дискретный цикл
- ДФЭ – дробный факторный эксперимент
- ЕН и Р – единые нормы и расценки
- ЕТО – единой техническое обслуживание
- ЕТОД – единой техническое обслуживание с диагностированием
- ЗТМ – землеройные транспортные машины
- КОВ – коэффициент относительной важности
- КР – капитальный ремонт
- КСЭ – коэффициент сохранности эффективности
- КТГ – коэффициент технической готовности
- КТИ – коэффициент технического использования
- ММ – математическая модель
- МНК – метод наименьших квадратов
- НТТМ – наземные транспортно-технологические машины
- ПО – программное обеспечение
- ПРМ – передвижные ремонтные мастерские
- ППР – планово-предупредительный ремонт
- ПТБ – производственно-техническая база
- РМЗ – ремонтно-механический завод
- СФО – Сибирский федеральный округ
- ТНВД – топливный насос высокого давления

ТО – техническое обслуживание

ТО и Р – техническое обслуживание и ремонт

ТР – текущий ремонт

ТЭ – техническая эксплуатация

ЦТО – централизованное техническое обслуживание

ЦЧ – цитановое число

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Аринин, И.Н.* Моделирование процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей / И.Н. Аринин, СИ. Коновалов. - Владимир: Владимирский политехнический институт, 1991. - 86 с.
2. *Баловнев В.И.* Определение параметров и выбор землеройных машин: учеб. пособие. – М.; Омск: ЗАО «Полиграф», 2010. – 224 с.
3. *Баловнев, В.И.* Выбор и определение параметров одноковшовых экскаваторов: учеб. пособие / МАДИ (ГТУ). – М., 2006. – 72 с.
4. *Баловнев, В.И.* Многоцелевые дорожно-строительные и технологические машины: Учебное пособие для вузов по дисциплине «Дорожные машины» /В.И. Баловнев// Омск- Москва: ОАО «Омский дом печати» 2006.- 320 с.
5. *Белецкий, Б.Ф.* Строительные машины и оборудования: Справочное пособие. (Строительство). /Белецкий Б.Ф.— Ростов н/Д.: Феникс, 2005. - 606 с.
6. *Бодман, Г.К.* Методы формирования парка строительных машин и контроль за их использованием. /Г.К. Бодман. А.К. Бчемян//- М.: Стройиздат 1980. -217 с.
7. *Болбас, М.М.* Основы технической эксплуатации автомобилей. Учебник/М.М. Болбас// Мн. Амалфея, 2001 - 352 с.
8. *Болдин, А.П.* Основы научных исследований и УНИРС: учеб. пособие / А.П. Болдин, В.А. Максимов. – М.: МАФИ. 1990. – 76с.
9. *Власов, В.М.* Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: учебник / В.М. Власов, С.В. Жанказиев, С.М. Круглов; под общ. ред. В.М. Власова. - 13-е изд, стер. - Москва: Академия, 2017. – 427 с.
10. *Волков С.А.* Строительные машины: Учебник для строит. вузов / С.А. Волков, С.А. Евтюков //изд. Переработано и дополнено. – СПб.: ООО «Изд-во ДНК», 2012. – 597 с.
11. *Волков, Д. П.* Надежность строительных машин и оборудования / Д. П. Волков, С. Н. Николаев. М.: Стройиздат, 1979.

12. *Воронкин, И.И.* Как можно ускорить процесс обновления строительной техники / И.И. Воронкин // Механизация строительства. -2002. -№7-стр. 2-3.
13. *Говорущенко, Н.Я.* Диагностика технического состояния автомобилей/ Н.Я. Говорущенко. –М., Транспорт, 1970 с.
14. *Головин, С.Ф.* Эксплуатация и техническое обслуживание дорожных машин, автомобилей и тракторов: Учебник для сред. проф. Образования / В.М. Коншин, А.В. Рубайлови др. под ред. Е.С. Локшина. – М.: Мастерство, 2002. – 464 с.
15. ГОСТ 15150 – 69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды (с Изменениями № 1,2,3,4,5) Группа Г08/Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации// Электронный ресурс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003320>. (дата обращения 14.08.19).
16. *Демин, В.А.* Методология планирования, организации и управления терминально-складскими комплексами в транспортно-логистических системах: дис. докт. наук. – М.: МАДИ, 2019. 306 с.
17. *Дрыгин, М.Ю.* Диагностика состояния тяжелой горной техники при планово-предупредительных ремонтах/ М.Ю. Дрыгин, Н.П. Курышкин // Динамика систем, механизмов и машин. 2017. №2. Т. 5. С. 115-122.
18. *Евтюков С.А.* Влияние условий местности на техническую эксплуатацию и формирование парков машин / С. А. Евтюков, О. А. Чооду // Вестник гражданских инженеров. — 2015. — № 3 (50). — С. 239–243.
19. *Евтюков С.А.* Особенности эксплуатации парков машин в условиях низких температур / С.А. Евтюков, Н.Т. Сандан // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 2 (55). – С. 186–191.
20. *Евтюков, С.А.* Наземные транспортно-технологические машины / Монография / С.А. Евтюков, С.С. Евтюков, А.В. Чудаков, Е.В. Куракина

- под общ. ред. С.А. Евтюкова. – СПб ООО «Издательский дом «Петрополис»», 2016. – 504 с.
21. *Епифанцев, Ю.А.* Особенности перехода от планово-предупредительных ремонтов к ремонтам по техническому состоянию/ Ю.А. Епифанцев // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2011. № 27. С. 213-217.
22. *Ермаков, С. М.* Курс статистического моделирования / С. М. Ермаков, Г. А. Михайлов. М.: Наука, 1976.
23. *Захаров, Н.С.* Повышение эффективности проектирования, исследования, эксплуатации автомобилей и строительно-дорожных машин: тезисы докладов./ Н.С. Захаров. – Горький, 1988. – с.74.
24. *Зорин, В.А.* Основы надежности машин: учеб. пособие для студентов вузов / Военно-техн. ун-т. – Балашиха, 2004. – 134 с.
25. *Канторер, С.Е.* Методы обоснования эффективности применения машин в строительстве./С.Е. Канторер// - М. Госстройиздат, 1961 - 341 с.
26. *Канторер, С.Е.* Расчеты экономической эффективности применения машин в строительстве. /Под. ред. проф. С.Е. Канторера — М.:Стройиздат, 1972.-468 с.
27. *Ким, Б.Г.* Обеспечение работоспособности и исправности парков строительной техники: учеб. пособие. Владимир: ВладГУ, 2000. – 147 с.
28. *Ким, Б.Г.* Обеспечение работоспособности и исправности парков строительной техники: Учебное пособие. /Б.Г. Ким. — Владимир.: ВладГУ, 2000 147 с.
29. *Ким, Б.Г.* Повышение уровня готовности парков строительных машин путем совершенствования системы технической эксплуатации: автореф. дис. . д-ра. техн. наук: 05.05.04 /Ким Борис Григорьевич; Москов. гос. строит, ун-т.— МД996- 36 с.
30. *Коллегаев, Р. Н.* Экономическая оценка качества и оптимизация системы ремонта машин /Р.Н. Коллегаев - М.: Машиностроение, 1980.-239с.

31. *Колегаев, Р.Н.* Экономическая оценка качества и оптимизация системы ремонта машин./Р.Н. Колегаев.- М.: Машиностроение, 1980-239 с.
32. *Колесниченко, А.В.* Техническая эксплуатация строительных машин /А.В. Колесниченко. — М.: Стройиздат. -1982.-262 с.
33. *Корнеев, С.В.* Методология совершенствования системы технического обслуживания дорожных, строительных и подъемно-транспортных машин: автореф. дис. . д-ра техн. наук: 05.05.04: /Корнеев Сергей Васильевич; Омск, 2003.-299 с.
34. *Крамаренко, Г.В.* Техническая эксплуатация автомобилей: учеб. пособие/ Г.В. Крамаренко. – М.: Транспорт, 1983. – 488с.
35. *Кравченко, С.А.* Разработка методики оценки влияния динамических процессов в нагружающих устройствах на силоизмерительную систему испытательных машин для циклических испытаний: дис. канд. наук. – Н.: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2009. 216с.
36. *Кречетова, Т.Н.* Разработка методики количественной оценки влияния напряженного состояния на физические свойства песчано-глинистых пород: дис. канд. наук. – Л., 1984. 257 с.
37. *Крысенко, В.И.* Пути повышения эффективности технического обслуживания строительно-дорожных машин/ В.И. Крысенко // Вестник Иркутского регионального отделения Академии наук высшей школы России. 2008. №1. С. 203–206.
38. *Кудряшов, Ю.А.* Автоматизированные методы управления технической эксплуатацией автомобилей / Ю.А. Кудряшов, Б.Д. Прудовский, В.В. Ухарский. –Ленинград: ЛДНТП, 1989 – 63 с.
39. *Кузнецов, Е.С.* Методика классификации условий эксплуатации автомобилей: тезисы докладов Всесоюзной научной конференции «Повышение эффективности использования автомобильного транспорта в условиях жаркого климата и высокогорных районов»/ Е.С. Кузнецов, Ю.В. Андрианов, - Ташкент, 1978. С. 22-23.

40. *Кузнецов, Е.С.* Методический подход к определению нормативных значений трудоемкости технического обслуживания и ремонта автотранспортной техники в условиях ограниченной информации/ Е.С. Кузнецов, В.А. Максимов, И.В. Конин, А.А. Хазиев. М., 1989. – 29с.
41. *Кузнецов, Е.С.* Техническое обслуживание и надежность автомобилей. /Е.С. Кузнецов М. Транспорт, 1972.-223 с.
42. *Кузнецов, Е.С.* Управление техническими системами: учебн. пособ. / Е.С. Кузнецов. - М.: МАДИ, 2003. - 247 с.
43. *Кузнецов, Е.С.* Управление техническими системами: учебн. пособ. / Е.С. Кузнецов. - М.: МАДИ, 2003. - 247 с.
44. *Кузнецов, П.А.* Надежность эксплуатации парка машин при переустройстве аварийных объектов. /П.А. Кузнецов, С.П. Олейник, Д.Ю. Коротков // Механизация строительства. -2006.-№1.-стр. 1416.
45. *Кузнецов, С.М.* Оптимизация организационно-технологических решений при строительстве транспортных сооружений. /С.М. Кузнецов, О.А. Легостаева, Н.А. Сироткин. //Транспортное строительство. 2006.-№2.-стр. 8-12.
46. *Кузьмин, Н.А.* Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности: учеб. пособие. Н. Новгород: НГТУ, 2002. – 72 с.
47. *Кутузов В.В.* Повышение эффективности эксплуатации строительных и дорожных машин с учетом изменения их технического состояния: Дис. канд. наук. – М.: МАДИ, 2012. 142 с.
48. *Лавров, Г.Е.* Из опыта использования и технического обслуживания строительной техники в Японии. /Г.Е. Лавров, Н.П. Шагов. - М.:ВНИИЭгазпром., 1970.-19 с.
49. *Лавров, Г.Е.* Из опыта организации технической эксплуатации строительных машин в США. /Г.Е. Лавров. -М.: ВНИИЭгазпром., 1970. - 29 с.



50. *Лексин, В.Н.* Общероссийские реформы и территориальное развитие. Ст. 11. Региональная Россия начала XXI века: новая ситуация и новые подходы к ее исследованию и регулированию/ В.Н. Лексин, А.Н. Швецова // Российский экономический журнал. – 2004. – № 4–6, 8. – С. 11–12.
51. Лекции ТЭТХЧА и СОБД, часть 1, стр. 3. <http://studfiles.ru>
52. *Леонтьев, И.В.* Повышение эффективности технического обслуживания дорожных машин для обеспечения их эксплуатационной надежности: дис. канд. наук. – Братск: БрГУ, 2005. 186 с.
53. *Линник, Ю.В.* Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений/ Ю.В. Линник. 2-е изд., - М.: Из-во «Наука» 1962 г.
54. *Локшин, Е.С.* Эксплуатация и техническое обслуживание дорожных машин, автомобилей и тракторов/ Е.С. Локшин. Учебник. М.: Мастерство, 2002-464 с.
55. *Локшин, Е.С.* Эксплуатация подъемно-транспортных строительных и дорожных машин: учебник для высш. учеб. заведений. /Под общ. ред. Е.С Локшина.- М.: Издат. центр «Академия».,2007.-512 с.
56. *Луйк, И.А.* Теоретические основы планирования технической эксплуатации машинного парка. /И.А. Луйк.- Киев.: Высшая школа, 1976.- 144 с.
57. *Луконин, В.П.* Управление безопасностью химико-технологических систем на базе метода активного контроля утечек: дис. докт. наук. – Н. НГТУ, 2005. 313 с.
58. *Магеря, Л.Ф.* Эффективное использование строительных машин: Учебное пособие. /Л.Ф. Магеря. Норильский индустриальный институт - Норильск.:Норильск. ИИ, 1995. -41с.
59. *Максименко, А.Н.* Эксплуатация строительных и дорожных машин: учеб. пособие / А.Н. Максименко. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.
60. *Максименко, А.Н.* Эксплуатация строительных и дорожных машин.; Мн.: УП /А.Н. Максменко// Технопринт, 2004 - 404 с.

61. *Максименко, А.Н.* Эксплуатация строительных и дорожных машин: Учебное пособие. /А.Н. Максменко// Мн.: Высшая школа., 1994 - 221 с.
62. *Максимов, В.А.* Расчет и прогнозирование возрастной структуры автомобильного парка / В.А. Максимов. – М.: МАДИ, 1995. – 24 с.
63. *Максимов, В.А.* Расчет и прогнозирование возрастной структуры автомобильного парка / В.А. Максимов. – М.: МАДИ, 1995. – 24 с.
64. *Манаков, А.Л.* Имитационное моделирование функциональной системы для оценки качества технического обслуживания и ремонта парков транспортно-технологических машин/ А. Л. Манаков, В. В. Моисеенко//Математическое и имитационное моделирование сложных систем. Проблемы информатики 2010 г. С 36-42/
65. *Манаков, А.Л.* Свидетельство № 2010610454 о государственной регистрации программы для ЭВМ «Моделирование функциональных систем оценки качества технического обслуживания и ремонта парков транспортно-технологических машин» / А. Л. Манаков, В. В. Моисеенко. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности и товарным знакам, 2010.
66. *Манаков, Л. Ф.* Имитационное моделирование процессов функционирования парков строительных машин / Л. Ф. Манаков, В. В. Моисеенко. Новосибирск: НГАС, 1997.
67. *Мандровский, К.П.* Системы мониторинга дорожно-строительных, транспортных машин и дорожных покрытий/ К.П. Мандровский // The Material sofInternational Scintific-Technical Conference "Interstroimech: сб. науч. ст. КГАСУ, 2015. -С. 310-315.
68. *Масино, М.Н.* Методы и модели оценки риска дефолта предприятий-заемщиков при принятии кредитных решений: дис. канд. наук. – СПб.: СПбГИЭУ, 2007. 111 с.
69. *May, В.* Социально-экономическая политика России в 2016 году: выход на новые рубежи? / В. Мау// Вопросы экономики. – 2016. – № 2. – С. 5–31.

70. *Монгуш, С.Ч.* Анализ проблем строительной техники в Республике Тыва / С.Ч. Монгуш, С.А.Евтюков /Вестник Тувинского государственного университета. 2018, №3. С 84-89.
71. *Мороз С.М.* Методологические основы диагностирования автотранспортных средств по критериям безопасности: автореферат дисс. докт. техн. наук. – М: 2004. – 41с.
72. Наземные транспортно-технологические машины /С.А. Евтюков, С.С. Евтюков, А.В. Чудаков, Е.В. Куракина Е.В. //Монография. Под общ. ред. С.А. Евтюкова. – СПб ООО «Издательский дом «Петрополис»», 2016. – 504 с.
73. *Ногин, В.Д.* Основы теории оптимизации / В.Д. Ногин. И.О. Протождьяконов, И.И. Евлампиев. - М.: Высшая школа, 1986. - 383 с/
74. *Озорнин, С.Ф.* Совершенствование организации мониторинга изменений технического состояния машин в эксплуатации/ С.Ф. Озорнин, И.Е. Бердилов // Вестник ЗабГУ. 2014. № 08 (111). С. 64-69.
75. Оптимизация процессов эксплуатации строительных и дорожных машин. Сб. науч. тр.- М.: МАДИ.-1983.-142 с.
76. *Пригарин, С. М.* Методы численного моделирования случайных процессов и полей. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2005.
77. *Пегат, А.* Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат: пер. с англ. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. -798 с.
78. *Пермяков В.Б.* Технологические машины и комплексы в дорожном строительстве/В.Б. Пермяков/. -Омск: Изд-во СиБАДИ, 2007. 440 с.
79. *Пермяков, В.Б.* Математическая модель оптимизация структуры парка машин дорожно-строительной организации. /В.Б. Пермяков, В.Н. Иванов. //Известия вузов: Строительство. -1998. -№7- стр. 9396.
80. *Петров, И.В.* Смазка и заправка строительных машин /И.В. Петров. -М.: Стройиздат, 1973. - 168 с.

81. *Попов, А.И.* Эффективное применение строительных и дорожных машин. Учебное пособие /А.И. Попов, С.А. Евтюков, С.М. Грущецкий, И.Б. Тищенко -СПб.: СПбГАСУ, 2002. -46 с.
82. *Поподько, Г.И.* Оценка потенциала развития республики тыва как проблемного региона России/ Г.И. Поподько, Э.Н. Гимадеева // *Фундаментальные исследования.* – 2016. – № 8-2. – С. 372-378. Электронный ресурс. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40674> (дата обращения: 04.06.2020).
83. Постановление Правительства Республики Тыва от 19 апреля 2018 г. № 199. «Об утверждении Стратегии развития топливно-энергетического комплекса Республики Тыва на период до 2030 года». Официальный портал Республики Тыва. Электронный ресурс. URL: <http://gov.tuva.ru/> (дата обращения – 25.05.2019).
84. Производственно-техническая инфраструктура предприятий автосервиса: учебник / Н.И. Верёвкин, А.Н. Новиков, Н.А. Давыдов; под ред. Н.А. Давыдова. – М.: Издательский центр «Академия», 2015. - 400 с.
85. *Прудовский, Б.Д.* Методы решения многокритериальных автотранспортных задач / Б.Д. Прудовский // *Вестник гражданских инженеров.* – СПб: СПбГАСУ, 2015. –2(49), -С.154-159/
86. *Прудовский, Б.Д.* Управление технической эксплуатацией автомобилей по нормативным показателям / Б.Д. Прудовский, В.Б. Ухарский. –М.: Транспорт, 1990 г. – 239 с.
87. *Прудовский, Б.Д.* Управление технической эксплуатацией автомобилей по нормативным показателям / Б.Д. Прудовский, В.Б. Ухарский. –М.: Транспорт, 1990 г. – 239 с.
88. *Рамазанова Б.К.* Стратегические направления развития промышленности региона/Б.К. Рамазанова // *Региональная экономика: теория и практика.* – 2012. – № 46. – С. 21–23.

89. Рейтинг социально-экономического положения субъектов РФ. Итоги 2018 года. Электронный ресурс. URL: <http://www.riarating.ru/> (дата обращения – 21.01.2020).
90. Рекомендации по организации технического обслуживания и ремонта строительных машин МДС 12-8.2000, 2000. 23 с.
91. *Репин, С.В.* Методология совершенствования эксплуатации строительных машин. /С.В. Репин. –СПб.: СПбГАСУ. - СПб.:2005. -164 с.
92. *Саати, Томас Л.* Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Томас Л. Саати. Пер. с англ., науч. ред. А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 360 с.
93. *Сандан Н.Т.* Эффективность использования наземных транспортно-технологических машин в климатических условиях Республики Тыва / Н.Т. Сандан, С.А. Евтюков, О.А. Чооду, С.Ч. Монгуш // Успехи современной науки. – 2017. –№ 3, Том 6. – С. 153–155.
94. *Сандан, Н.Т.* Влияние сезонных изменений на надежность наземных транспортно-технологических машин / Н.Т. Сандан, С.А. Евтюков, Ч.Д. Шавыраа // Успехи современной науки. – 2017. –№ 4, Том 4. – С. 116–120.
95. *Сандан Н.Т.* Особенности эксплуатации парков машин в условиях низких температур / Н.Т. Сандан, С.А. Евтюков // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 2(55), С. 186-191.
96. *Сандан Н.Т.* Проблемы зимнего пуска двигателя в условиях низких температур в Республике Тыва / Н.Т. Сандан // Вестник Тувинского государственного университета. – 2016. – № 3(30), С. 139-150.
97. *Сандан Н.Т.* Влияние возраста наземных транспортно-технологических машин на интенсивность отказов / Н.Т. Сандан, С.Е. Максимов, В.Н. Горшков, П.В. Дружинин // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 3(62), С. 207-210.
98. *Сандан Н.Т.* Надежность и эффективность наземных транспортно-технологических машин / Н.Т. Сандан // Сборник материалов VIII ежегодной научно-практической конференции аспирантов и молодых

- ученых Тувинского государственного университета, посвященной Году экологии в России. – 2017. – С. 17-19.
99. *Сандан Н.Т.* Влияние на изменение работоспособности гидроцилиндров рабочего оборудования экскаваторов в условиях эксплуатации / Н.Т. Сандан // Вестник Тувинского государственного университета. – 2017. – № 3(34), С. 58-64.
100. *Сандан Н.Т.* Влияние низких температур на эксплуатацию машин и механизмов в Республике Тыва / Н.Т. Сандан // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 1(66), С. 150-153.
101. *Сандан Н.Т.* Область эффективного применения наземных транспортно-технологических машин и выбор целесообразных вариантов механизации / Н.Т. Сандан, С.А. Евтюков // Сборник статей по материалам 13-й международной научно-практической конференции, Серия: Технические науки. – 2018. – № 1(1), С. 14-21.
102. *Сандан Н.Т.* Влияние износа на изменение эксплуатационных свойств наземных транспортно-технологических машин в процессе эксплуатации / Н.Т. Сандан, С.А. Евтюков, С.В. Репин // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 3(68), С. 161-165.
103. *Сандан Н.Т.* Особенности эксплуатации транспортно-технологических машин в условиях высоких амплитуд суточных температур / Н.Т. Сандан, О.А. Чооду, С.А. Евтюков, С.Ч. Монгуш // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 5(70), С. 167-173.
104. *Сандан Н.Т.* Эксплуатация наземных транспортно-технологических машин в климатических и географических условиях Республики Тыва / Н.Т. Сандан, С.А. Евтюков, О.А. Чооду // Вестник Тувинского государственного университета. – 2020. – № 1(58), С. 23-34.
105. *Сандан Н.Т.* Брикетирование снега при уборке малых территорий Республики Тыва / Н.Т. Сандан // Вестник Тувинского государственного университета. – 2020. – № 1(58), С. 57-65.

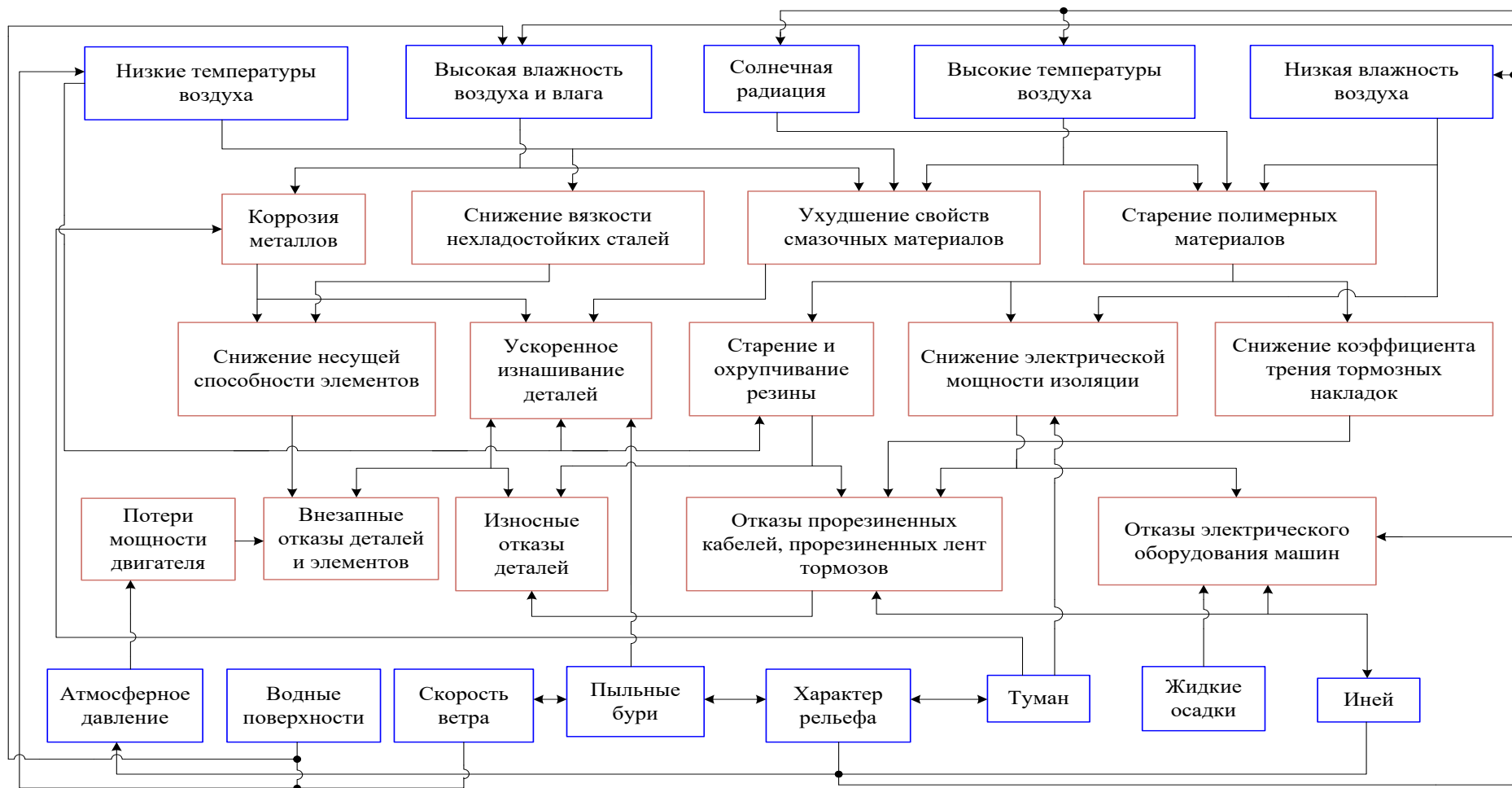
106. *Сандан Н.Т.* Контролепригодность и методы определения технического состояния наземных транспортно-технологических машин / Н.Т. Сандан, С.А. Евтюков, Ю.Ф. Кайзер, В.В. Конгар-оол, Н.С. Борбак-оол. // Известия Тульского государственного университета. – 2020. - № 10, С. 462-468.
107. *Сандан Н.Т.* Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин / Н.Т. Сандан, С.А. Евтюков, С.С. Евтюков, Е.В. Куракина // учебник. Под общ. ред. С.А. Евтюкова. – СПб ООО «Издательский дом «Петрополис»», 2019. – 380 с.
108. *Сандан Н.Т.* Погрузочно-разгрузочное оборудование на автомобильном транспорте / Н.Т. Сандан, И.С. Брылев, С.С. Евтюков, // учебное пособие. – СПб ООО «Издательский дом «Петрополис»», 2019. – 133 с.
109. *Сандан Н.Т.* Грузоподъемные и погрузочно-разгрузочные машины / Н.Т. Сандан, И.С. Брылев, С.А. Евтюков, С.Ч. Монгуш // учебное пособие. – СПб ООО «Издательский дом «Петрополис»», 2019. – 211 с.
110. *Сандан Н.Т.* Теория эксплуатационной надежности машин / Н.Т. Сандан, И.С. Брылев, С.А. Евтюков, // лекционный курс. – СПб ООО «Издательский дом «Петрополис»», 2019. – 198 с.
111. *Сандан Н.Т.* Управление технической эксплуатации транспортных средств / Н.Т. Сандан, С.А. Евтюков, Л.С. Чеглакова // монография. – СПб ООО «Издательский дом «Петрополис»», 2020. – 420 с.
112. *Соколов, В.С.* Пути развития систем технического обслуживания и ремонта автомобилей/ В.С. Соколов, О.Н. Филинов, //В кн. Опыт повышения качества ремонта и надежности транспортных средств. - Л.: ЛДНТП, 1982. – с. 4-8.
113. *Тайц, В.Г.* Ремонт подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин: учеб. пособие для студентов вузов/ В.Г. Тайц//. -М.: Академия, 2007. 332 с.

114. *Терентьев, А.В.* Научно-методический подход к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля: дис. докт. наук. – СПб.: СПбГАСУ, 2018. 303 с.
115. *Тимофеев, В.Н.* Экономическая эффективность машин: основные факторы, резервы повышения, управление. /В.Н. Тимофеев — Харьков.: Изд-во «Основа» ХарьковГУ.,1990. — 156 с.
116. *Усов, А.В.* Применение марковских случайных процессов для информационного моделирования работы автотранспортных средств/ А.В. Усов, Е.Ю. Кутяков // Вестник ХУНТУ. № 3(50), 2014 г.
117. *Хасанов, Р.Х.* Основы технической эксплуатации автомобилей: учеб. пособие / Р.Х. Хасанов. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. -193 с.
118. *Хованов Н.В.* Модели учета неопределенности при построении сводных показателей эффективности деятельности сложных производственных систем/ Н.В. Хованов, Ю.В. Федотов // Научные доклады № 28(R) – 2006, Изд-во СПб.: НИИ менеджмента СПбГУ, 2006. – 37 с
119. *Черноруцкий, И.Г.* Методы принятия решений / И.Г. Черноруцкий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
120. *Чооду, О.А.* Проблемы эксплуатации дорожных и строительных машин/О.А. Чооду // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2008. № 70. С. 67–73.
121. *Чооду, О.А.* Разработка методики оценки влияния климатических условий на эксплуатацию дорожно-строительных машин (на примере территории Республики Тыва): Дис. канд. техн. наук. - СПб.: СПбГАСУ, 2009. 128 с.
122. *Чооду, О.А.* Техническая эксплуатация горных машин в условиях Республики Тыва/ О.А. Чооду, С.А. Евтюков // Успехи современной науки. 2017. Том 4, № 1. С. 60–64.
123. *Чооду, О.А.* Формирование высокоэффективного парка транспортно-технологических комплексов и оборудования для различных отраслей



- народного хозяйства страны/ О.А. Чооду, С.А. Евтюков, С.Ч. Монгуш.//  
Естественные и технические науки. 2015. № 5 (83). С. 89–91.
124. *Чооду, О.А.* Эксплуатация горных транспортно-технологических машин на месторождениях полезных ископаемых на территории РТ/О.А. Чооду // Вестник ТувГУ. 2014. № 3(22). С. 92–102.
125. *Шейнин, А.М.* Эксплуатация дорожных машин / А. М. Шейнин, А. П. Крившин и др. - М.: Машиностроение, 1980.
126. *Шестопалов, К.С.* Строительно-дорожные машин/ К.С. Шестопалов// -М.: Издательский центр «Академия», 2008. 384 с.
127. *Шишканов, Р.А.* Резервы улучшения качества фирменного сервисного обслуживания автомобилей: теория, методика, механизм использования: автореф. дис. ... к-та. экон. наук: 08.00.05. / Шишканов Роман Александрович – Саратов: 2009. -27 с..
128. *Штойер, Р.* Многокритериальная оптимизация: теория, вычисления, приложения / Р. Штойер. - М.: Наука, 1982, – С.14-29, С. 146-258.
129. *Якунин, Н.Н.* Методологические основы контроля и управления техническим состоянием автомобилей в эксплуатации: автореферат дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.10. / Якунин Николай Николаевич. – Оренбург: 2004. – 37с.
130. rsl01001093609.txt

**Схема комплексного влияния основных климатических факторов и атмосферных явлений на свойство материалов и надежность машин**



Исследование показателя трудоемкость текущего ремонта НТТМ (н/ч)

№ ДСМ	Номер ремонта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,86	0,86	2,63	1,18	1	6,48	6,48	
2	0,77	0,86	0,77	3,39				
3	0,86	1,05	2,48	5,62	3,09	7,3		
4	1,18	0,78	2,5	2,28	2,48			
5	2,68	1,44	0,86	1,22	1	2,28	1,44	2,68
6	1,12	0,86	1,4	5,07	7,81			
7	0,86	1	0,89	2,68				
8	2,68	1,44	2,48	6,48				
9	1	0,86	1,44	1,22	2,68			
10	2,68	1	1,96	6,48				
11	0,46	0,77	2,63	1,18	3,39	5,62	6,48	
12	1,18	0,86	0,77	6,48				
13	0,86	1,05	2,48	5,62	3,09	7,3		
14	0,86	0,78	2,5	2,28	3,09			
15	2,68	1	1,4	1,22	1	2,28	1,44	5,08
16	1,22	0,86	2,68	5,07	6,48			
17	0,86	1	0,89	2,68				
18	1,44	2,68	2,48	5,07				
19	1,4	0,86	1,96	1,22	3,09			
20	2,2	0,86	1,96	5,07				
21	0,77	1,05	2,68					
22	1	0,86	1,22	2,28	2,68			
23	2,28	3,09	5,62					
24	1,4	1,22	1	2,28	1,44	5,08		
25	2,63	1,18	3,39	5,62				
26	0,86	1,18	2,68	1,12	0,86	2,68		
27	0,86	0,86	2,68	5,07				
28	0,77	2,48	2,5	1,4	2,68			
29	1,18	3,39	5,62	6,48				
30	1,05	0,78	1	2,48	2,5			
31	0,78	1,44	0,86	1	1,44	3,39		
32	1	1,4	1,22	1	2,28	2,68		
33	1,18	0,86	2,48	3,39				
34	1,44	0,86	1,22	1	2,28	1,44	3,39	
35	0,78	1,44	1,4	0,86	2,5			
36	0,89	2,48	1,96	1,96	2,68	1,22	5,62	
37	0,46	1,18	0,86	0,86	2,68			
38	1,18	0,78	2,5	2,28	2,48			
39	2,68	1,44	0,86	1,22	1	2,28	1,44	2,68
40	1,12	0,86	1,4	5,07	7,81			
41	0,86	1	0,89	2,68				

42	2,68	1,44	2,48	6,48				
43	1	0,86	1,44	1,22	2,68			
44	2,68	1	1,96	6,48				
45	0,46	0,77	2,63	1,18	3,39	5,62	6,48	
46	1,18	0,86	0,77	6,48				
47	0,86	1,05	2,48	5,62	3,09	7,3		
48	0,86	0,78	2,5	2,28	3,09			
49	2,68	1	1,4	1,22	1	2,28	1,44	5,08
50	2,48	2,5	1,4	2,68				
51	3,39	5,62	6,48					
52	0,78	1	2,48	2,5				
53	1,44	0,86	1	1,44	3,39			
54	1,4	1,22	1	2,28	2,68			
55	0,86	2,48	3,39					
56	0,86	1,22	1	2,28	1,44	3,39		
57	1,44	1,4	0,86	2,5				
58	2,48	1,96	1,96	2,68	1,22	5,62		
59	1,18	0,86	0,86	2,68				
60	0,78	2,5	2,28	2,48				
61	1,44	0,86	1,22	1	2,28	1,44	2,68	
62	1,12	0,86	1,4	5,07	7,81			
63	0,86	1	0,89	2,68				
64	2,68	1,44	2,48	6,48				
65	1	0,86	1,44	1,22	2,68			
66	2,68	1	1,96	6,48				
67	0,46	0,77	2,63	1,18	3,39			
68	1,18	0,86	0,77	6,48				
69	0,86	1,05	2,48	5,62	3,09			
70	0,86	0,78	2,5	2,28	3,09			
71	2,68	1	1,4	1,22	1			
72	0,77	2,63	1,18	3,39	5,62	6,48		
73	0,86	0,77	6,48					
74	1,05	2,48	5,62	3,09	7,3			
75	0,78	2,5	2,28	3,09				
76	1	1,4	1,22	1	2,28	1,44	5,08	
77	0,86	2,68	5,07	6,48				
78	0,86	0,86	2,63	1,18	1	6,48	6,48	
79	0,77	0,86	0,77	3,39				
80	0,86	1,05	2,48	5,62	3,09	7,3		
81	1,18	0,78	2,5	2,28	2,48			
82	2,68	1,44	0,86	1,22	1	2,28	1,44	
83	1,12	0,86	1,4	5,07	7,81			
84	0,86	1	0,89	2,68				
85	2,68	1,44	2,48	6,48				
86	0,86	1,44	1,22	2,68				
87	1	1,96	6,48					

88	0,77	2,63	1,18	3,39	5,62	6,48		
89	0,86	0,77	6,48					
90	1,05	2,48	5,62	3,09	7,3			
91	0,78	2,5	2,28	3,09				
92	1	1,4	1,22	1	2,28	1,44		
93	2,63	1,18	3,39	5,62				
94	0,86	1,18	2,68	1,12	0,86	2,68		
95	0,86	0,86	2,68	5,07				
96	0,77	2,48	2,5	1,4	2,68			
97	1,18	3,39	5,62	6,48				
98	1,05	0,78	1	2,48	2,5			
99	0,78	1,44	0,86	1	1,44	3,39		
100	1	1,4	1,22	1	2,28	2,68		
средние	1,301	1,372	2,1903	2,9414	1,743	3,87766	3,837	3,88

## Акт внедрения результатов работы

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по учебной работе  
 Санкт-Петербургского  
 государственного архитектурно-  
 строительного университета  
 С.Г. Головина  
 2021 г.

## АКТ

об использовании результатов диссертационной работы аспиранта  
 Сандан Нелли Тимуровны  
 в учебном процессе СПбГАСУ

Комиссия в составе:

Председателя – декан автомобильно-дорожного факультета, к.т.н., доцент  
 кафедры наземных транспортно-технологических машин А.В. Зызыкина

Членов комиссии:


д.т.н., профессора кафедры НТТМ А.В. Терентьева  
 к.т.н., доцента кафедры НТТМ С.С. Евтюкова


составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы  
 «Методика оценки эффективности эксплуатации наземных транспортно-  
 технологических машин, учитывающая региональные особенности (на  
 примере Республики Тыва)» представленной на соискание ученой степени  
 кандидата технических наук, используются в курсе лекций и в расчетно-  
 аналитических заданиях по дисциплине «Эксплуатация подъемно-  
 транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования»,  
 «Строительно-дорожные машины и оборудования», «Технология ремонта  
 наземных транспортно-технологических машин и комплексов» Санкт-  
 Петербургского государственного архитектурно-строительного  
 университета.

Председатель комиссии:

  
 А.В. Зызыкин  
 (к.т.н., доцент каф. НТТМ, декан АДФ)

Члены комиссии:

  
 А.В. Терентьев  
 (д.т.н., доцент, проф. каф. НТТМ)

  
 С.С. Евтюков  
 (к.т.н., доцент каф. НТТМ)

УТВЕРЖДАЮ

Министр дорожно-транспортного  
комплекса Республики Тыва

Дандаа К.К.

2020 г.



АКТ

о внедрения результатов научно-исследовательской работы  
кафедры Наземных транспортно-технологических машин  
Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного  
университета, разработанной при участии  
Сандан Нелли Тимуровны

Настоящим удостоверяется, что рекомендации, содержащиеся в  
диссертационном исследовании, использовались в дорожно-транспортном  
комплексе Республики Тыва при создании:

1. Оценка состояния системы эксплуатации наземных транспортно-технологических машин в Республике Тыва.
2. Методика определение коэффициента корректирования трудоёмкости ТР НТТМ в условиях Республики Тыва.
3. Разработана комплексная методика оценки эффективности НТТМ на базе методов решения многокритериальных задач в условиях неопределенного состояния внешней среды, достоверно повышающая эффективность эксплуатации НТТМ в заданном пространстве измерений и ограничений исследуемой среды (условий эксплуатации).

Использование указанных результатов позволяет повысить  
эффективность использования парка наземных транспортно-технологических  
машин на современном этапе.



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО ТУВИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Ректор ТувГУОМ Момушку



2020 г.

**АКТ**

об использовании результатов диссертационной работы аспиранта Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета  
Сандан Нелли Тимуровны

в учебном процессе Тувинского государственного университета

Комиссия в составе:

Председателя – заведующего кафедрой «Транспортно-технологические средства» к.т.н., доцента С.Ч. Монгуша

Членов комиссии:

к.т.н., доцента О.А. Чооду

к.т.н. доцента Ч.Д. Шавыраа

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Методика оценки эффективности эксплуатации наземных транспортно-технологических машин, учитывающая региональные особенности (на примере Республики Тыва)» представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, используются в курсе лекций и в расчетно-аналитических заданиях по дисциплине «Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования», «Строительно-дорожные машины и оборудования», «Технология ремонта наземных транспортно-технологических машин и комплексов» Тувинского государственного университета.

Председатель комиссии:

Члены комиссии:

_____	С.Ч. Монгуш
_____	О.А. Чооду
_____	Ч.Д. Шавыраа