

*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»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор,  
заслуженный работник высшей школы РФ  
**Евтюков Сергей Аркадьевич**

**Официальные оппоненты:** **Молев Юрий Игоревич**  
доктор технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. П. Е. Алексеева», кафедра «Строительные и дорожные машины», профессор;

**Паничкин Антон Валерьевич**  
кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева», кафедра «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины», и.о. заведующий кафедрой;

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

Защита диссертации состоится «17» июня 2021 г. в 15.30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.223.02 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4, (аудитория №220).

Тел./Факс: (812) 316-58-72; E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте <http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/sandan-nelli-timurovna>

Автореферат разослан «29» апреля 2021 г.

Ученый секретарь  
диссертационного  
совета Д 212.223.02  
кандидат технических наук,  
доцент



Олещенко Елена Михайловна

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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 к 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 оценки 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 возрастают на 30-50%, а производительность падает на 1,4...1,6 раза, что увеличивает трудоемкость ремонтных работ и требует развития производственно-технической базы. 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, 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) является сложной оптимизационной задачей, в которой важное значение имеет определение математических моделей управления процессами ТО и Р. Обеспечивать научное 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. Практические данные показывают обратную ситуацию, с увеличением срока эксплуатации НТТМ в предприятиях Республики Тыва увеличиваются интервалы производимых работ по ТР, в связи со значительными непроизводительными 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.

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.

**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 трудоемкости 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 надёжности 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 оценки 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 НТТМ (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: разработке алгоритма определения показателей ТО и Р в виде дискретных зависимостей, позволяющих эффективно управлять процессами ТЭ НТТМ в условиях республики Тыва; разработке модели последовательного (по дискретным состояниям) определения эффективности НТТМ по установленным критериям эффективности в количественных оценках; определении коэффициента корректирования трудоемкости ТР НТТМ в условиях республики Тыва, позволяющий снизить степень неопределенности в исследуемой системе управления технических показателей НТТМ; получении функциональных зависимостей изменения эффективности системы ТО и Р в зависимости от установленного доминирующего критерия оптимизации; разработке комплексной методики индивидуального подхода к технико-экономической оценке эффективности процессов ТО и Р НТТМ.

**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.

**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. Результаты расчёта абсолютной погрешности при определении трудоемкости ТР НТТМ
4. Методика определения коэффициента корректирования трудоемкости 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.

**Область исследования** соответствует паспорту научной специальности 05.05.04 – «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины»: п 2. – «Методы моделирования, прогнозирования, исследований, расчета тех-

нологических параметров, проектирования, испытаний машин, комплектов и систем, исходя из условий их применения»; п 5. – «Методы повышения долговечности, надежности и безопасности эксплуатации машин, машинных комплектов и систем».

**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: использованием методов системного анализа, системной инженерии, математического теорий вероятностей и теории принятия решений: векторной оптимизации и линейного программирования; отсутствием противоречий с ранее проводимыми исследованиями другими учеными по тематике технической эксплуатации НТТМ; публикациями в рецензируемых изданиях ВАК РФ.

**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 Тувинского 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.** Основные положения и результаты исследования опубликованы в 16 печатных работах общим объемом 26,3 п.л., 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.

**Во введении** раскрывается тема исследования, обосновывается её выбор, актуальность и необходимость повышения эффективности эксплуатации назем-

ных транспортно-технологических машин в климатических условиях Республики Тыва. Формируется цель и задачи исследования, представлена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, изложены положения, выносимые автором на защиту.

**В первой главе** анализируются современные тенденции, формирующие необходимость повышения эффективности эксплуатации НТТМ в Республике Тыва, природно-климатические условия в Республике Тыва, влияющие на организацию процессов технической эксплуатации НТТМ. Определяются особенности организация ТО и Р в системе планово-предупредительного ремонта НТТМ. Производится анализ теоретических исследований, отечественного и зарубежного опыта по вопросам организации ТО и ремонта машин, определяются направления исследования.

**Во второй главе** разрабатываются теоретические основы повышения эффективности эксплуатации НТТМ в климатических условиях Республики Тыва, определяются структура и интенсивность влияния факторов на эксплуатацию НТТМ, и пути ее повышения эффективности. Производится теоретическая оценка связей интенсивности влияния факторов климата и рельефа местности на организацию работ ТО и Р.

**В третьей главе** определяются структура методики корректирования периодичности ТО НТТМ и методы исследования влияния сложного комплекса факторов на работоспособность НТТМ, разрабатывается аналитическая модель определения показателей ТО и Р эксплуатации НТТМ в виде дискретных зависимостей. Производится расчёт предельной абсолютной погрешности при определении трудоемкости ТР НТТМ при применении метода наименьших квадратов и выбор критериев оптимизации в системе технического обслуживания и текущего ремонта НТТМ

**В четвёртой главе** представлена методика индивидуального подхода к технико-экономической оценке эффективности процессов ТО и Р НТТМ: алгоритм определения показателей ТО и Р в виде дискретных зависимостей; модель определения коэффициента корректирования трудоёмкости ТР НТТМ в условиях Республики Тыва; модель определения эффективности НТТМ в отдельных дискретных состояниях. Производится оптимизация системы ТО и Р НТТМ на основе установленных закономерностей изменения технико-экономических показателей

**В заключении** изложены основные итоги и результаты выполненного исследования.

## **II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

### **1. Оценка состояния системы эксплуатации наземных транспортно-технологических машин в Республике Тыва**

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, но в настоящее время процесс активного освоения этих запасов крайне неэффективен и невелик. 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. (рисунок 1).

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) в части воздействия климатических факторов внешней среды на условия эксплуатации, хранения и транспортировки машин и изделий вся территория нашей страны разделена на районы.

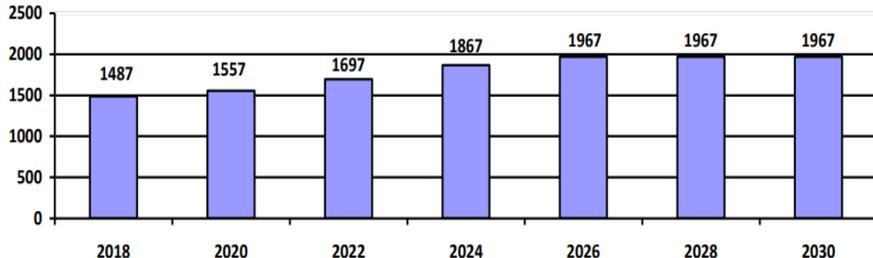


Рисунок 1. – Прогноз добычи каменного угля в Республике Тыва с 2018 по 2030 гг.

К районам с холодным климатом отнесены районы (рис. 2), в которых средняя из ежегодных абсолютных минимумов температура воздуха ниже –45°C [92].



Рисунок 2. – Районы с холодным климатом

Тыва характеризуется сильной изношенностью и значительным истощением ресурса. 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, учитывающих особые условия эксплуатации НТТМ. Сезонные изменения оказывают значительное воздействие на показатели использования машин и их надежность. По ряду машин они определяют характер использования техники в различные периоды года. Статистические данные о распределении длительности безотказной работы бульдозера в течение года показан на рисунке 3.

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. Надежность НТТМ существенно зависит от срока их эксплуатации. Анализ исходных данных на рисунке 4 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.

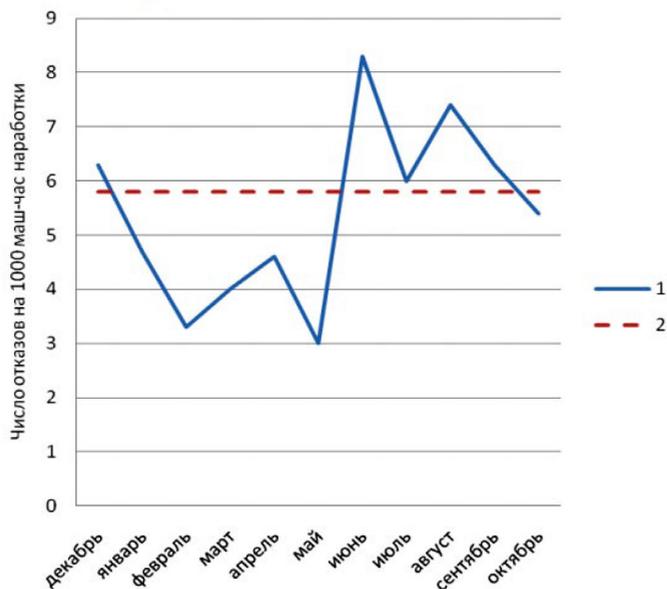


Рисунок 3. – Распределение интенсивности отказов бульдозеров в течение календарного года I – эмпирическая линия; II – теоретическая линия

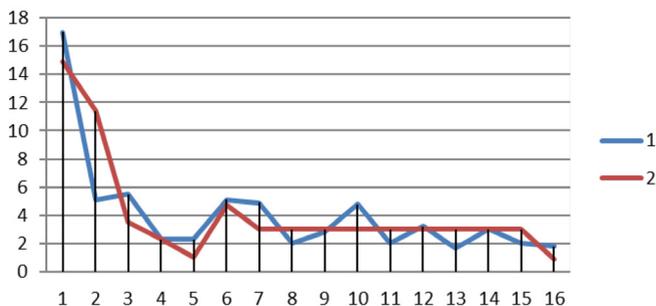


Рисунок 4 – Распределение наработки на отказ бульдозера

I – эмпирическая линия; II – теоретическая линия

Найденные закономерности дают возможность прогнозировать уровень появления отказов техники, зависящий от «возраста» машин и условий эксплуатации. В целом подтверждается тенденция к более частому ТО при старении машины, которую в последние месяцы эксплуатируют на более легком режиме и производят минимум профилактических работ (таблица 1)

Таблица 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 ( $x_{j3}$ ) 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 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 неплановых ремонтов.

## 2. Математическая модель определения скорректированной для конкретных условий эксплуатации периодичности ТО наземных транспортно-технологических машин

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.

Рассмотрим возможность представления процессов изменения по времени основных показателей работы НТТМ в дискретной форме. 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 НТТМ на базе трактора регулярно через определенные промежутки времени в зависимости от количества мото-часов, проработанных трактором установлены следующие виды планового ТО (рисунок 4): ЕТО – ежесменное техническое обслуживание; (ТО-1) – 50; (ТО-2) – 250; (ТО-3) – 1000 моточасов.

I – эмпирическая линия; II- теоретическая линия.

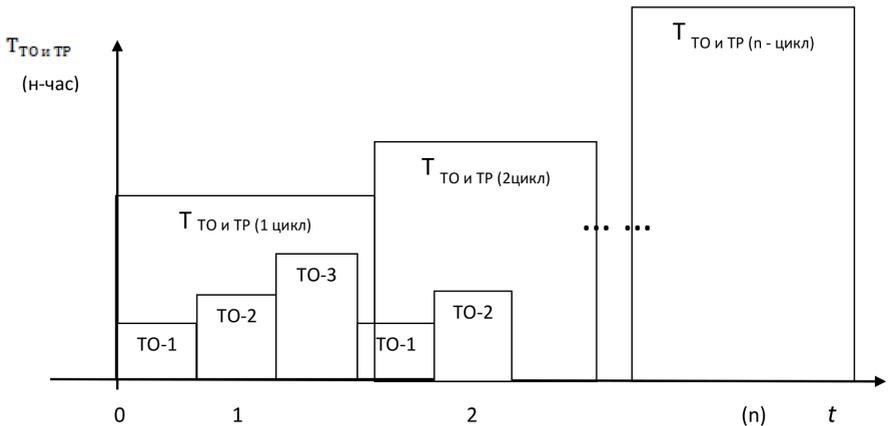


Рисунок 5. – Формирование пространства дискретных состояний НТТМ  
Простой НТТМ в ТО за дискретный цикл определяются по формуле:

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

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

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

$$M_{ij}^{TO} = A_j^{СП} \cdot m_{ij}^{TO}, \text{ ед.} \quad (2)$$

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

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

$$T_{ij}^{TO} = M_{ij}^{TO} \cdot N_{ji}^{TO}, \text{ час.} \quad (3)$$

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

$$T_j^{TO} = \sum_{i=1}^n T_{ij}^{TO}, \text{ час.} \quad (4)$$

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

$$D_j^{TR} = \frac{t_{ji}^{TR} \cdot L_{Ц}}{1000}, \text{ дн. /1000 маш-час.}, \quad (5)$$

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

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

$$t_{trj} = \frac{10^3}{L_{Ц}^{TO}} \cdot \sum_{k=1}^p T_{trkj}, \text{ н-час/1000 маш-час.} \quad (6)$$

где  $p$  – количество воздействий ТР в пределах цикла ТО;  $T_{trkj}$  – трудоёмкость необходимая для устранения отказа, норма-час.

Удельная трудоемкость работ ТР  $j$ -го НТТМ за ДЦ:

$$t_{Цj}^{TR} = t_j^{TR} \cdot \eta_j^{Ц}, \text{ н \cdot час.}, \quad (7)$$

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

$$\eta_j^{Ц} = \frac{D_j^P + D_j^{TO} + D_j^{TR}}{D_j^{Ц}}, \quad (8)$$

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

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

$$T_{Цj}^{TO} = \eta_j^{Ц} \cdot T_j^{TO}, \text{ час.} \quad (9)$$

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

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

$$t_j^{TO} = \sum_{i=1}^n t_{ij}^{TO} \cdot m_{ij}^{TO}, \text{ н \cdot ча}, \quad (10)$$

где  $m_{ij}^{TO}$  – количество обслуживаний соответствующего вида за ТО цикл, ед.;  $t_{ij}^{TO}$  – норматив ТО, н \cdot час.

Цикловая трудоемкость работ по ТО  $j$ -го НТТМ:

$$t_{Цj}^{TO} = t_j^{TO} \cdot A_j^{СП}, \text{ н \cdot час/цикл ТО.} \quad (11)$$

Трудоемкость работ ТО j-го НТТМ за ДЦ:

$$t_{Ц}^{ТО} = t_{Ц}^{ТО} \cdot \eta_j^{Ц}, \text{ н} \cdot \text{час/ДЦ}, \quad (12)$$

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

Объем работ (трудоемкость ТО) парка НТТМ за ДЦ:

$$t_{Ц}^{ТО} = \sum_{j=1}^m t_{Ц}^{ТО}, \text{ н} \cdot \text{час/ДЦ}. \quad (13)$$

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

$$T_j^{ТР} = L_{Ц} \cdot t_{Ц}^{ТР}, \text{ маш} \cdot \text{час}. \quad (14)$$

Разработанный алгоритм определения показателей ТО и Р в виде дискретных зависимостей позволяет эффективно управлять процессами ТЭ НТТМ в условиях республики Тыва по следующими причинам. Различают два основных способа расчёт показателей ТЭ: *по дискретным состояниям*, данная схема применяется при интенсивной эксплуатации техники в условиях, которые превышают установленные требования к надежности для заданных условий эксплуатации; *метод случайного списания*, определяется вариацией фактической наработки единицей техники до её списания.

Учитывая сказанное, что модель дискретного управления ТЭ НТТМ в большей степени соответствует условиям работы.

### 3. Результаты расчёта абсолютной погрешности при определении трудоемкости ТР НТТМ

Результаты расчёта отклонения фактических (таблица 2) и предельной абсолютной погрешности (рисунок 6) 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 ТР.

Таблица 2 – 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

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.

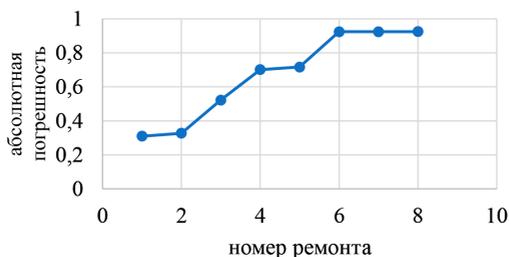


Рисунок 6 – Изменения абсолютной погрешности от номера ремонта при определении трудоемкости ТР НТТМ

#### 4. Методика определения коэффициента корректирования трудоемкости ТР НТТМ в условиях Республики Тыва

Проведенные исследования позволили определить возможные отклонения в показателях ТЭ, вызванные специфическими условиями работы НТТМ. На рисунке 7 приведены данные изменения значений показателя трудоемкость ТР.

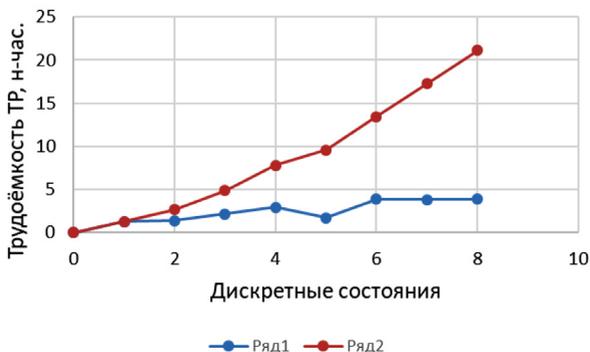


Рисунок 7 – Изменения значений показателя трудоемкость ТР в зависимости от дискретных состояний:

Проанализируем рисунок 7.

- 1) «Ряд 1» – фактическая средняя трудоемкость непланового ТР;
- 2) «Ряд 2» – условная предельная фактическая трудоемкость непланового ТР, рассчитанная с учётом абсолютной погрешности измерений, которая в свою очередь вызвана наличием значительной степени неопределённости в системе контроля за техническим состоянием НТТМ.

В таблице 3 приведены исходные данные для определения коэффициента корректирования показателя трудоемкость ТР НТТМ в условиях Республики Тыва.

Обобщенный коэффициент корректирования показателя трудоемкость ТР НТТМ [ $K_{тр}$ ] (таблица 4 и рисунок 8) должен учитывать совокупность влияния специфических особенностей в исследуемых условиях, таких как: климатические факторы, характеризующиеся продолжительностью воздействия отрицатель-

ных 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  $(-35) - (-40) ^\circ\text{C}$ ; 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.; факторы, определяемые существующей практикой технической эксплуатации механизмов и ремонтных работ и организации его работы.

Таблица 3 – Исходные данные для определения коэффициента корректирования показателя трудоёмкость ТР НТТМ в условиях Республики Тыва

№ Дискретного состояния	Фактические данные	Условные фактические данные	Относительное отклонение $\Delta\text{тр}$	Приведенное отклонение $\Delta\text{тр}$
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

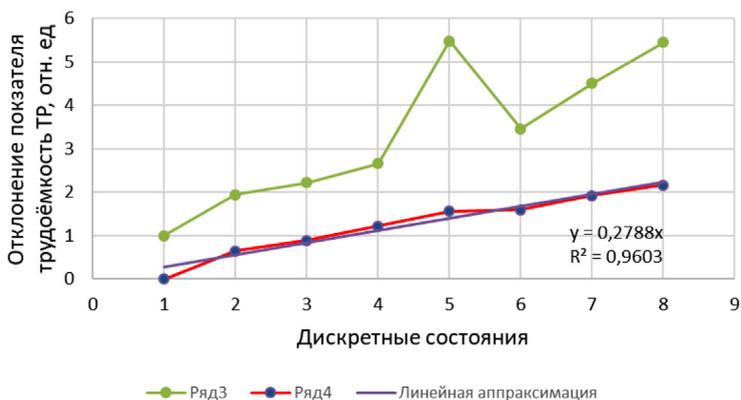


Рисунок 8. – Определение коэффициента корректирования показателя трудоёмкость ТР НТТМ: «ряд 1» – относительное отклонение  $\Delta\text{тр}$ ; «ряд 2» – приведенное отклонение  $\Delta\text{тр}$

Таблица 4 – Определение коэффициента корректирования показателя трудоёмкость ТР НТТМ

Приведенное отклонение $\Delta_{тр}$	Приращение $\Delta_{тр}$	Дискретное значение $K_{тр}$	Значение $\bar{K}_{тр}$
1E-04	0	1	<b>1,269722</b>
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	

### 5. Модель многокритериальной оптимизации в системе технического обслуживания и текущего ремонта НТТМ с показателем оптимизации интервал ТО

Для определения 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 5, а матрица эффективностей локальных дискретных состояний с данными, полученными в процессе исследования представлена в виде таблицы 6. В таблице 7 определяется целеполагание в сформированной матрице эффективностей

Таблица 5. – 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 6. – Матрица эффективностей локальных дискретных состояний с данными, полученными в процессе исследования

n	Интервал ТО*	Удельная трудоёмкость ТР	Нарработка	Удельные затраты
1	306	1,3011	3707	0,48

Окончание табл. 6

n	Интервал ТО*	Удельная трудоёмкость ТР	Наработка	Удельные затраты
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 7. – 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

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

$$\left\{ \begin{array}{l} D_i = \sum_{j=1}^n \delta_{ij} c_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^m c_j = 1, 0 \leq c_j \leq 1, c_j \geq c_{j+1}, j = \overline{1, m-1} \end{array} \right. \quad (15)$$

Ввиду высокой трудоёмкости вычислительных процедур для решения поставленных задач применяется специализированное программное обеспечение (ПО). Результаты расчёта текущей эффективности системы ТО и ТР ДСМ представлены на рисунке 9.

Процедура оптимизации заключается в определении

$$\Delta_{ij} = c_{ij}^{\max} - c_{ij}^T, \quad (16)$$

при соблюдении условий:

$$d_i = \sum_{j=1}^4 \delta_{ij} c_j \rightarrow \max, \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^4 \Delta_{ij} c_j = 1, 0 \leq \Delta_{ij} c_j \leq 1, \quad (18)$$

где

$$\Delta_{ij}c_j^{max} = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j \leq k, \\ 0, & \text{если } j > k, \end{cases} \quad (19)$$

где индекс  $k$  определяется из условия  $\delta_{ki} = \max \delta_{ii}$ .

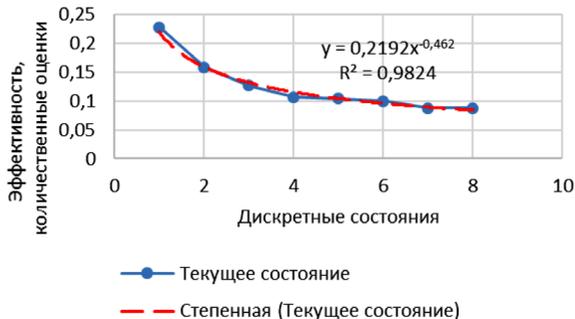


Рисунок 9 – График зависимости текущей эффективности системы ТО и ТР для отдельных дискретных состояний

Сравнение результатов расчёта в виде графиков текущего состояния и оптимизированного состояния ТО и ТР по критерию «Интервал ТО» приведено на рисунке 10.



Рисунок 10 – Сравнение графиков зависимости текущего состояния и оптимизированного состояния системы ТО и ТР для отдельных дискретных состояний

## 6. Методика оценки эффективности использования НТТМ с учетом оптимизации установленных закономерностей изменения технико-экономических показателей системы ТО и Р.

Результаты расчёта оптимизированных состояний, для различных параметров оптимизации приведены в таблице 9.

Например, (см. таблицу 9) 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.

На рисунке 11 приведено сравнение зависимостей изменения эффективности системы ТО и Р НТТМ при решении многокритериальной задачи по различным критериям оптимизации.

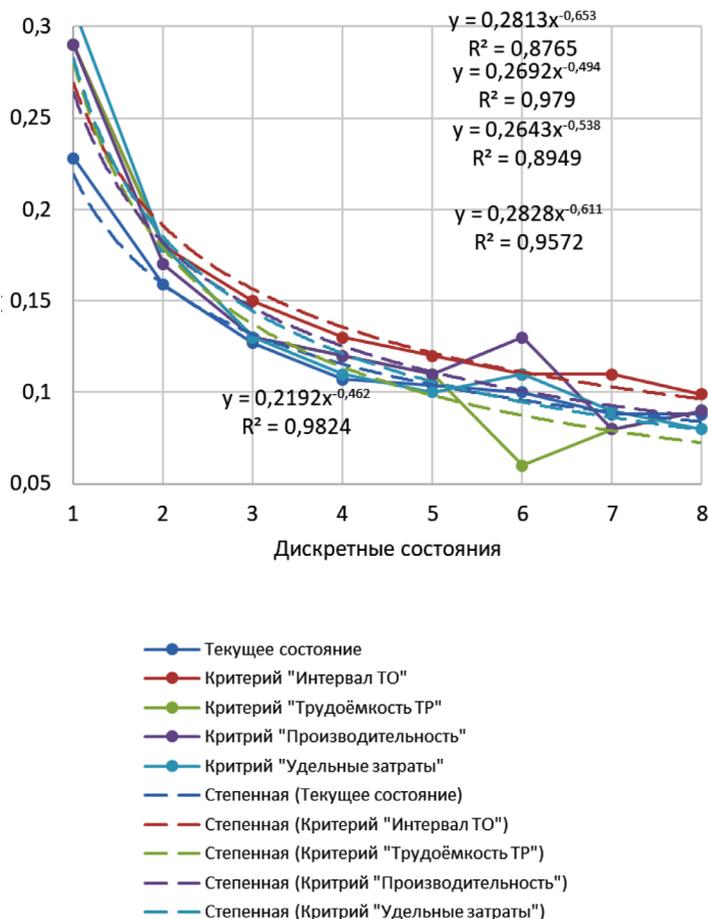


Рисунок 11 – Графики изменения эффективности системы ТО и Р в зависимости от установленного доминирующего критерия

Таблица 9. Результаты расчёта эффективности отдельных дискретных состояний

№	Вариант поиска решения	Расчетная эффективность в отдельных дискретных состояниях												
		<b>D0=0.29;</b>	<b>D1=0.18;</b>	<b>D2=0.13;</b>	<b>D3=0.13;</b>	<b>D4=0.11;</b>	<b>D5=0.13;</b>	<b>D6=0.08;</b>	<b>D7=0.09;</b>					
1	<b>P1&gt;P2&gt;P3&gt;P4</b>	<b>D0=0.29;</b>	<b>D1=0.18;</b>	<b>D2=0.13;</b>	<b>D3=0.13;</b>	<b>D4=0.11;</b>	<b>D5=0.13;</b>	<b>D6=0.08;</b>	<b>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;</b>	<b>D1=0.18;</b>	<b>D2=0.13;</b>	<b>D3=0.07;</b>	<b>D4=0.11;</b>	<b>D5=0.04;</b>	<b>D6=0.08;</b>	<b>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>1>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;</b>	<b>D1=0.17;</b>	<b>D2=0.13;</b>	<b>D3=0.12;</b>	<b>D4=0.11;</b>	<b>D5=0.13;</b>	<b>D6=0.08;</b>	<b>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;					
19	<b>P4&gt;P2&gt;P3&gt;P1</b>	<b>D0=0.31;</b>	<b>D1=0.18;</b>	<b>D2=0.13;</b>	<b>D3=0.11;</b>	<b>D4=0.10;</b>	<b>D5=0.11;</b>	<b>D6=0.09;</b>	<b>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;					
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;					
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;					
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;					
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;					

В таблице 10 приведены результаты расчёта локальной и общей эффективности, а также полученные аналитические зависимости изменения эффективности в количественных оценках для различных параметров оптимизации в системе ТО и Р НТТМ.

Анализ графиков на рисунке 10 и результатов расчёта, приведенных в таблице 10 показывает, 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 ТО и Р НТТМ в 1,2 если в качестве оптимизируемого параметра принимается показатель – интервал ТО.

Таблица 10 – Результаты расчёта локальной и общей эффективности, 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

### III. 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, 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 ка-

честве мероприятий по обеспечению работоспособности строительных машин; неразвитости средств контроля работоспособности; низком уровне материально-технического 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 ТО и Р, а качество эксплуатации низкое, из-за недоучетов приспособленности техники к природно-климатическим факторам республики. 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. 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 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 повышение эффективности эксплуатации НТТМ

1. Разработан алгоритм определения эффективности определения показателей ТО и ТР 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 неопределённого состояния внешней среды, позволяет повысить эффективность системы ТО и Р НТТМ в 1,2 если в качестве оптимизируемого параметра принимается показатель – интервал ТО.

## **IV. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **1. Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций**

1. 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, (0,31/0,19).

2. 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, (0,25/0,15).

3. 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, (0,25).

4. 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, (0,31/0,19).

5. 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, (0,43/0,28).

## **2. Монографии**

6. Сандан, Н. Т. Управление технической эксплуатацией транспортных средств: монография / Под общ. Ред. Проф. С. А. Евтюкова. – Санкт-Петербург: Изд-во «Петрополис», 2020. – 354 с. (22,06/20)

## **3. Публикации в прочих изданиях, индексируемых в РИНЦ**

7. 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, (0,75).

8. Сандан, Н. Т. Эффективность использования наземных транспортно-технологических машин в климатических условиях Республики Тыва / Н. Т. Сандан, С. Ч. Монгуш, С. А. Евтюков, О. А. Чооду // Успехи современной науки. 2017. № 3 Т. 6. С. 153–155, (0,25/0,17)

9. 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, (0,37/0,20)

10. 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, (0,18).

11. 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, (0,43).

12. Сандан, Н. Т. Влияние морального износа на сроки службы машин / Н. Т. Сандан, С. А. Евтюков, С. Ч. Монгуш // Успехи современной науки. 2017. № 12 Т. 1. С. 114–117, (0,25/0,17).

13. 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, (0,5).

14. 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, (0,75/0,50)

15. Сандан, Н. Т. Брикетирование снега при уборке малых территорий Республики Тыва / Н. Т. Сандан // Вестник Тувинского государственного университета. – 2020. – № 1(58), С. 57–65, (0,56).

16. 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, (0,44/0,24).

#### **4. Учебные пособия**

17. 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., (23,75/15,25).

18. 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., (8,31/4).

19. 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., (13,18/7,18).

20. 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., (12,37/7,37).

Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 15.04.2021. Формат 60×84  $\frac{1}{16}$ , Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 1,5. Тираж 120 экз. Заказ 20.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.  
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.