

На правах рукописи

Еремеев Николай Сергеевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ
МАШИН НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ
ИХ ОСТАТОЧНЫМ РЕСУРСОМ**

Специальность 05.21.01.

«Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва 2005 г.

Работа выполнена в Московском государственном университете леса

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор

Камусин Альберт Абетдинович

- доктор технических наук, профессор

Голубев Иван Григорьевич

- доктор технических наук, профессор

Курьянов Виктор Кузьмич

Ведущая организация - ФГУП «Государственный научный центр
лесопромышленного комплекса»

Защита диссертации состоится «20» мая 2005 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д.212.146.03 при Московском государственном университете леса по адресу: 141005, г. Мытищи-5 Московской обл.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета леса

Автореферат разослан « »2005 г.

Учёный секретарь

диссертационного совета,

доктор технических наук, профессор



Рыбин Борис Матвеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. При проектировании и изготовлении машин формируется определенный ресурс или запас их потенциальных возможностей, который расходуется по мере эксплуатации и возобновляется при обслуживании или ремонте.

Превентивные ремонтно-обслуживающие работы, замены деталей и узлов машин составляют основу существующей ремонтной политики, которая сформировалась в дорыночных условиях при действовавших в тот период соотношениях цен на сырьевые ресурсы и машины для их добычи.

В существующих условиях за каждую единицу недоиспользованного технического ресурса, потерянную при предупредительных ремонтах машины и ее составных частей приходится расплачиваться в 5 и более раз большим, чем прежде, объемом производимой продукции. Новые экономические условия требуют новых подходов к формированию методологии технической эксплуатации и ремонта машин.

Техническое сопровождение эксплуатации машин, в том числе и машин лесопромышленного комплекса, можно рассматривать как инструмент управления запасом их потенциальных возможностей, заложенных при изготовлении и пополняемых при обслуживании и ремонте. Известный ученый в области эксплуатации и ремонта машин А.И. Селиванов для обозначения этого запаса использовал термин «годность», который мы будем в дальнейшем применять. Определение момента для проведения работ по восстановлению технического состояния машин зависит от различных факторов, часто противоречащих друг другу. Эта противоречивость является исходной предпосылкой для поиска оптимальных решений среди множества возможных.

Поэтому разработка научных основ технической политики, которую необходимо использовать при эксплуатации ремонтпригодной техники на современном этапе развития экономических отношений, является важной народнохозяйственной задачей, определяющей актуальность работы.

Цель и задачи исследования. Основной целью исследования являлось формирование научно обоснованных теоретических предпосылок к избирательному подходу применения стратегий технического сопровождения и совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта лесных машин, обеспечивающих повышение эффективности их эксплуатации. Предлагаемые подходы основаны на разработке новых концептуальных и рецептурных технических решений задач, поставленных перед лесопромышленным комплексом в связи с изменившимися экономическими и организационными условиями его развития.

Для достижения поставленной цели решались на разных иерархических уровнях (деталь-машина-парк машин) следующие основные задачи:

1. Обоснование целесообразности избирательного подхода к использованию различных стратегий технического сопровождения эксплуатации лесозаготовительных машин с учетом экономических условий производства.

2. Исследование влияния технико-экономических факторов на параметры управления надежностью машин и их элементов и установление критических зон их значений для эффективной технической эксплуатации лесозаготовительных машин.

3. Исследование процесса использования в современных условиях групповых ремонтных процедур для машины, которая рассматривается как система элементов и разработка экономико-математической модели формирования наиболее эффективного комплекса мероприятий ее технического сопровождения, обеспечивающего минимум затрат на единицу продукции за срок службы машины.

4. Разработка имитационной модели, позволяющей описывать закономерность изменения затрат на обновление и пополнение парка машин, а также на их техническое сопровождение в зависимости от динамики изменения их технического состояния и состояния экономической среды, в которой эти машины эксплуатируются.

5. Исследование зависимости параметров предлагаемой системы технического обслуживания и ремонта как инструментов управления запасом потенциальных возможностей парка машин от различных сценарных особенностей развития производственных структур отрасли.

Научная новизна. В процессе работы над диссертацией были разработаны следующие положения, обладающие научной новизной, а именно:

1. Разработаны научные основы совершенствования организации технической эксплуатации лесозаготовительных машин, базирующиеся на системном подходе к использованию их ресурса и запаса годности, как ординаты случайного процесса старения при изменяющемся в рыночных условиях паритете цен на лесоматериалы и используемую для их производства технику.

2. Определены граничные условия, обеспечивающие минимальные потери при проведении превентивных ремонтных работ, связанных с недоиспользованием ресурсных возможностей машины и ее элементов.

3. Создана экономико-математическая модель, позволяющая определять наиболее приемлемые для различных экономических условий параметры ремонтной политики и формировать на перспективу парк машин, обеспечивающий заданную динамику заготовки лесоматериалов.

4. Исследовано влияние динамики изменения цен на машины и лесоматериалы, а также дисконтного фактора на сроки службы машин, при которых минимальна доля времени, затрачиваемого на производство продукции, эквивалентной по стоимости издержкам на техническое обслуживание и эксплуатацию.

5. Разработаны научно обоснованные рекомендации:

- по сближению допускаемых и предельных значений контролируемых параметров состояния отдельной детали, агрегата или машин в целом;
- по сокращению объемов групповых превентивных замен агрегатов;

- по сокращению необходимых закупок новых машин за счет оптимизации сроков их службы, ремонта и модернизации.

6. Созданы предпосылки для совершенствования выходных параметров машин нового поколения на этапе их проектирования.

Значимость для теории и практики. Практическая ценность работы заключается в создании и разработке:

- методики обеспечения разработок новых и корректировок для современных условий существующих нормативов допустимых и предельных значений параметров технического состояния элементов лесозаготовительных машин;
- комплекса критериев позволяющих определять сроки и объемы проведения групповых ремонтных процедур, обеспечивающих минимальные эксплуатационные затраты на единицу продукции за срок службы машины;
- компьютерной программы, предназначенной для расчетов технико-экономических параметров при составлении бизнес-планов и планов по техническому перевооружению лесозаготовительных предприятий.
- предпосылок повышения конкурентоспособности вновь проектируемых машин за счёт повышения показателей их надёжности и ремонтпригодности.

На защиту выносятся:

1. Концепция эффективного использования потенциальных ресурсных возможностей лесозаготовительных машин как иерархической структуры при изменяющихся в современных условиях паритетах цен на лесоматериалы и используемую для их производства технику.

2. Результаты теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию эффективных условий применения предупредительных ремонтных работ, связанных со снижением недоиспользованных ресурсных возможностей лесозаготовительных машин и их элементов.

3. Рекомендации и методика корректировки ремонтной документации в части допускаемых значений контролируемых параметров состояния деталей.

4. Методика оптимизации управляющих параметров для принятого сценария производства лесоматериалов с целью минимизации затрат на покупку новых лесозаготовительных машин и техническую эксплуатацию их парка.

Апробация результатов работы. Основные результаты работы доложены и обсуждались на:

- Международных форумах «Лесопромышленный комплекс России XXI века» (г. Санкт-Петербург) в 2000-2003 годах;
- Международном форуме «Лес и человек» в 2002, 2004 г. (г. Москва);
- научно-технических конференциях в рамках международной выставки «Российский лес» в 2002, 2004 годах (г. Вологда);

- научно-технических конференциях в «Леспромбизнес» (Москва, 2002 г.), «Лестехпродукция» (г. Москва, 2003 г.);

ежегодных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов МГУЛ в 2001-2004гг.

Реализация и внедрение результатов работы. В соответствии с «Перечнем важнейших народнохозяйственных программ и проектов», финансируемых из средств федерального бюджета, разработана и утверждена Министерством промышленности, науки и технологий Российской Федерации компьютерная программа «Оптимизация параметров стратегии пополнения, обновления, модернизации и ремонта парка лесозаготовительных машин». Программа предназначена для формирования технической политики лесозаготовительных предприятий и позволяет быстро рассчитать различные варианты перспективного развития технической базы лесозаготовок и определять необходимые условия, обеспечивающие минимальные затраты для пополнения, обновления и поддержания в работоспособном состоянии парка машин в различных экономических ситуациях.

Результаты работы используются в учебном процессе МГУЛ при подготовке инженеров по специальностям 1704 и 2301 на кафедрах «Колёсные и гусеничные машины» и «Технология машиностроения и ремонта».

Результаты теоретических экспериментальных исследований по снижению потерь годности элементов машин при их ремонте использовались Онежским и Алтайским тракторными заводами, Великолукским и Соломбальским машиностроительными заводами, Екатеринбургским заводом лесного машиностроения, Ковровским экскаваторным заводом и ООО «Лестехком» (г. Йошкар-Ола). В соответствии с рекомендованной методикой ими были скорректированы допустимые и предельные значения параметров деталей машин, подлежащих ремонту. В результате этого был более полно использован их технический ресурс, снизились материальные затраты и при этом не наблюдалось увеличения числа отказов и претензий со стороны заказчиков.

Результаты исследований по определению условий снижения потерь при групповых ремонтных воздействиях (капитальных ремонтах) использовались ОАО «ЦНИИМЭ» при разработке бизнес-планов и различного рода рекомендаций предприятиям лесопромышленного комплекса.

Результаты исследований по формированию стратегии пополнения, обновления, модернизации и ремонта парка машин, как факторы ресурсосбережения, использовались ОАО «Кареллеспром» ЗАО «Онегалеспром», ОАО «Майсклес», ОАО «Луковецкий ЛПК», ОАО «Волоколамский ЛПХ», ОАО «Шаховской ЛПХ» и другими при разработке планов по техническому перевооружению лесозаготовок.

Публикации. Основное содержание работы и результаты исследований опубликованы в 34 работах, в том числе: монографии - 3, статьи в научно-технических журналах, рекомендуемых ВАК для докторских диссертаций - 12, других изданиях - 11, авторских свидетельств - 5, учебных пособий - 2.

Объём работы. Диссертация состоит из введения, 4 разделов, основных выводов и рекомендаций, списка использованных источников и приложений; содержит 302 стр. машинописного текста, 88 рисунков, 62 таблицы и 10 приложений. Список литературы включает 193 наименований.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность и важность темы для народного хозяйства, сформулированы цели и задачи исследования, а также научные положения, обладающие новизной и выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу состояния проблемы, позволяющему учесть накопленный опыт учёных, занимавшихся этой многогранной проблемой.

Все исследования по данной тематике, выполненные ранее различными авторами, нами разбиты на несколько блоков. Первый блок работ посвящен характеристике условий лесозаготовительного производства и их влиянию на эксплуатацию машин, второй блок работ - параметрам состояния и надёжности лесозаготовительных машин, третий блок работ - управлению надёжностью на уровне элемента машины, четвёртый блок работ - методологии оптимизации надёжности машины как системы элементов и пятый блок работ - исследованию парка машин и разработке стратегии его эффективного использования.

К публикациям, отражающим первый блок обозначенных направлений, следует отнести работы В.И.Алябьева, Г.М.Анисимова, Б.М.Большакова Г.К.Виногорова, К.И.Вороницына, И.К.Иевеня, А.А.Камусина, В.М.Котикова, В.Г.Кочегарова, В.П.Немцова, А.К.Редькина, В.С.Сюнева и др., в которых обоснованы модели оптимизации систем машин и технологий для лесосечных работ.

Различие и многообразие природно-производственных условий предполагают, что в лесных отраслях должно существовать множество технологий, методов труда и даже типов предприятий. Это показано в работах Н.А.Бурдина, В.В.Грачёва, В.В.Кашубы, В.В.Коробова, Н.И.Кожухова, Н.В.Лифшица, В.Е.Леванова, В.И.Сиротова и др.

Важной для нас проблеме эксплуатации машин на лесозаготовках посвящены работы, В.Н.Андреева, В.В.Балихина, В.В. Быкова, И.Ф.Воеводы, В.К.Курыянова, В.Н.Невмержицкого, В.Б.Прохорова, Ф.П.Попова В.П.Тюкавина, и др.

Однако вопросы, связанные с разработкой мероприятий по сбережению ресурса средств механизации лесосечных работ в этих исследованиях не ставятся.

В то же время во многих работах отмечается, что большое влияние на эффективность лесозаготовок оказывают затраты на ремонт и техническое обслуживание лесозаготовительных машин.

Второй блок работ связан с анализом среды, в которой разворачиваются сценарии управления техническим состоянием машин, формам и методам управления, а также методологии исследования этих вопросов.

Большой вклад в организацию и совершенствование ремонтных работ в лесозаготовительной отрасли внесли И.Г.Беккер, И.В.Воскобойников, А.М.Задиран, В.П.Копчиков, А.В.Серов и др.

Вопросам раскрытия механизма процесса изнашивания и изучению закономерностей, которые определяют его протекание, посвящено большое число широко известных работ П А Каренина, М Д Конкина, И В Крагельского, Б И Костецкого, И М Хрущева, Г Я Ямпольского, и др

Наиболее полно исследованы вопросы технической эксплуатации машин в сельском хозяйстве Широко известны работы таких ученых как А Н Батищев, И Г Голубев, В В Курчаткин, В М Михлин, А Э Северный, А И Селиванов, Н Ф Тельнов, М А Халфин, В И Черноиванов, С С Черепанов и многих других

Содержание научных основ технической эксплуатации машин в основном направлено на изучение динамики и выявления причин изменения их состояния, оценки и прогнозирования последующего изменения технического состояния деталей, узлов и машины в целом с целью выработки оптимальных методов и способов управления техническим состоянием машин Значения параметров управления техническим состоянием машин являются не только следствием надежности их элементов, но они формируются и под влиянием особенностей объединения элементов в различные *системы*

Началом отсчета в иерархии систем следует считать детали Они в работе рассматриваются как системы I-го уровня (рис 1) Основным резервом более полного использования исходного запаса ресурсных возможностей в системах I го уровня является ужесточение упреждающего допуска определяющего условия превентивных замен деталей

Следующей ступенью иерархии является агрегат, например, двигатель трактора Назовем ее системой II-го уровня Однако при изложении настоящей работы рассмотрение систем II-го уровня мы опустим и сразу перейдем к машине Мы будем рассматривать машину как систему III-го уровня, т е как совокупность агрегатов Выходными характеристиками сбережения ресурса являются условия группового совмещения ремонта и замены отдельных элементов, включая капитальный ремонт машины

Четвертой ступенью в иерархии систем будем считать парк машин одного назначения, т е их совокупность, формируемую для выполнения некоторого объема работ в заданном промежутке времени На место выбывшего элемента парка может поступить новый элемент - другая машина Кроме того, парк может пополниться или модернизироваться не в связи с заменой машин отслуживших свой срок а с целью изменения производственных возможностей для выполнения изменившегося объема работ

Эффективность функционирования системы IV-го уровня во многом зависит от выбора стратегии пополнения, обновления и модернизации парка машин как во временном, так и в количественном аспектах

Вопросы управления процессом старения и надежностью отдельного элемента проработаны в настоящее время наиболее полно Можно условно выделить два класса задач, рассматриваемых при решении данных вопросов

Один класс задач касается продолжительности использования элемента по назначению, т е выбора оптимального значения назначаемого ресурса (срока службы), или установления границы предельного состояния



Рис. 1. Схема иерархии систем различных уровней

Другой - связан с профилактикой, с оптимизацией допусков на уже известное предельное значение параметра состояния элемента Подходы к решению этих проблем были проанализированы в работах Дж Тейлора, Р Шеффера, Р Барлоу и Л Хантера, Е Ю Барзиловича, А Притцкера, В М Михлина и др

Исследование машины как системы, состоящей из множества элементов, аналитически проработаны менее полно Важной мы считаем работу Р Бартоу и Л Хантера, которые рассматривали стратегию ремонта, при которой система полностью обновляется при наработке T_r , а в случае отказа элементов они ремонтируются индивидуально Для случая, когда задается распределение безотказной работы системы и n однотипных элементов, решение получено И Герцбахом Большой интерес представляют работы В Шейнина, С Н Драницына, В А Ушанова, Л К Челпана и др

Вопросы оптимального использования парка машин исследовались Я Квашой, Г Пренрейхом, В Булавским, Ю А Конкиным, А С Гальпериним, Г Токаревым, Р Петуховым, Ю Таршисом, И Зворыкиным и др

Анализ проведенных работ показывает, что долговечность машин может получить свою количественную оценку в контексте стратегии необходимого пополнения, обновления, модернизации и ремонта парка машин отрасли Разные авторы реализовывали многие аспекты такого подхода, однако в полном объеме он реализован не был

На основании проведенного анализа рассматриваемой проблемы определены основные направления научного поиска и задачи исследования

Вторая глава посвящена теоретическому обоснованию и исследованию возможностей сбережения технического ресурса машины в процессе управления ее ремонтным обеспечением *на уровне элемента*

Составные части механических систем относятся в своем большинстве к элементам стареющего типа, т е таким, у которых интенсивность отказов является монотонно возрастающей функцией наработки

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (1)$$

Здесь $f(t)$ - плотность распределения времени безотказной работы, $F(t)$ - функция распределения времени работы до отказа

Одним из немногих способов управления процессом старения лесозаготовительных машин является их профилактика, т е система мер по техническому обслуживанию и ремонту В зависимости от процедуры принятия решений о необходимости проведения управленческих мероприятий различают три стратегии управления При стратегии C_I управленческие мероприятия осуществляются после достижения элементом предельного (неработоспособного или экономически неприемлемого) состояния При стратегии C_{II} предусматривается замена деталей при достижении определенной наработки А стратегия C_{III} основана на принятии решения, предупреждающего отказ, по результатам предварительного определения параметров технического состояния элемента и сравнения их с предельными или допустимыми значениями

В стратегии C_{III} будем различать два ее подвида Первый, обозначим его C_{III}^1 , характеризуется одним значением параметра $Y_{п.о}$ - предельным допустимым значением контролируемой характеристики состояния Y Выход Y за границу $Y_{п.о}$ можно рассматривать и как параметрический (постепенный) отказ, при котором изделие не всегда теряет свою работоспособность, но становится менее экономичным Второй подвид стратегии C_{III}^2 характеризуется двумя значениями управляющего параметра Здесь, кроме экономически допустимого $Y_{о}$, имеющего упреждающий характер присутствует такое значение контролируемой характеристики состояния, которое определяется физическим отказом машины и препятствует ее дальнейшему использованию Обозначим этот параметр $Y_{н}$

Современные рыночные механизмы, изменив соотношения стоимости машин и производимой ими продукции в пользу первых, уменьшили в значительной степени эффективность профилактических ремонтных воздействий, связанных с недоиспользованием ресурса превентивно заменяемых составных частей

Для подтверждения высказанной гипотезы было проведено исследование стратегии C_{III} с учетом особенностей ее подвидов, а именно, C_{III}^1 и C_{III}^2 для нынешних экономических условий

Издержки, связанные с ремонтным обеспечением элемента при его старении, являются функцией нескольких переменных Это вероятность перехода рассматриваемого элемента из работоспособного в неработоспособное состояние к моменту t в заданных условиях использования

$$P = P[t, Y(t), Y_{п}, Y_{о}, t_{конт}], \quad (2)$$

где $Y(t)$ - случайная функция, связывающая значение параметра состояния Y с наработкой (временем) t Предполагается, что вид функции $Y(t)$ априори известен, также как и ее основные статистические параметры - математическое ожидание m_y и дисперсия σ_y^2 ; $Y_{п}$ - значение функции Y , соответствует предельному состоянию элемента, характеризующему его отказ, $Y_{о}$ - упреждающий допуск на предельное значение контролируемой переменной Y при превентивной замене элемента или в других терминах, допустимая потеря запаса годности ΔY^* при такой замене $t_{конт}$ - наработка между операциями контроля

Важными являются и экономические характеристики последствий отказа и процессов его предупреждения

$$C = C(C_{пр}, C_s, C_k), \quad (3)$$

где $C_{пр}$ - потери от простоя машин в связи с отказом элемента, C_s - стоимость превентивной замены элемента, C_k - стоимость контроля

Вычисление функции (2) сводится в теоретическом плане к решению задачи о среднем числе выбросов n_a и n_p случайной функции $Y(t)$ за уровни $Y_{п}$ и $Y_{о}$ для промежутка времени $t_{конт}$, являющегося периодически повторяющейся частью общего времени T использования элемента В общем виде это решение можно записать следующим образом

$$\bar{v}_a = \int_0^{t_{\text{конт}}} \int_0^{\infty} f(Y_{\Pi}, V/t) dV dt, \quad (4)$$

$$\bar{v}_p = \int_0^{t_{\text{конт}}} \int_0^{\infty} f(Y_{\partial}, V/t) dV dt,$$

где $F(t)$ - скорость изменения ординаты случайной функции $Y(t)$; $f(Y_{\partial}, V/t)$ - двухмерный закон распределения ординаты случайной функции $Y=Y_{\partial}$ и ее производной в момент t .

Для нормальных стационарных процессов и их независимости от взаимного влияния Y_{Π} и Y_{∂} на эти процессы уравнение (4) решалось бы достаточно просто. Однако в нашем случае вероятности $P(Y_{\Pi})$ и $P(Y_{\partial})$ зависимы друг от друга, а случайный процесс изменения параметра состояния не всегда подчинен нормальному закону. Кроме того, наличие дополнительного переменного параметра - периодичности контроля, значения которого влияют на вероятность нахождения элемента в исправном или в неисправном состоянии и оптимизация которого входит в круг решаемой задачи, делает аналитическое решение чрезвычайно сложным и едва ли выполнимым делом.

Все это серьезно усложняет математическую модель и расчеты. Поэтому будем подсчитывать издержки за весь период T в предположении, что замены осуществляются только на новые элементы. Для детали это допущение естественно, для машины как элемента (гл. III) оно будет снято. Общее число превентивных замен элементов, не отказавших за период T , можно выразить интегральным уравнением Вольтера второго рода, именуемым в теории надежности функцией восстановления

$$H_1(T) = F_1(T) + \int_0^T H_1(t-\tau) f_1(t) d\tau, \quad (5)$$

где $H_1(T)$ - среднее число превентивных замен за T в \mathbb{E} ; $F_1(\bar{x})$ - функция распределения времени до превентивной замены; $f_1(t) = \frac{dF_1}{dt}$; τ - переменная интегрирования.

Соответственно затраты, связанные с превентивными заменами за период T , запишутся тогда так

$$W_1 = H_1(T) C_S \quad (6)$$

Аналогично, общее число замен элементов, отказавших за период T , будет равно:

$$H_2(T) = Q(T) + \int_0^T H_2(t-\tau) f_2(t) dt, \quad (7)$$

где $f_2(t) = \frac{dQ}{dt}$,

а затраты, связанные с их заменой

$$W_2 = H_2(T) (C_S + C_{np}) \quad (8)$$

Складывая W_1 и W_2 и переходя к нормированным и удельным значениям, получим, суммарные удельные издержки за период T в виде:

$$W_{уд}^0 = \frac{H_1(T) + H_2(T)(1 + C_{np}^0)}{T} \quad (9)$$

То сочетание управляющих параметров, при котором величина $W_{уд}^0$ достигает минимума, будем называть оптимальными параметрами управления старением (надежностью) элемента в соответствии со стратегией «по состоянию», при задаваемых значениях C_{np}^0 и известных характеристиках естественного (неуправляемого) процесса изменения его состояния.

Для решения поставленной задачи был использован метод статистических испытаний (метод Монте-Карло), позволяющий воспроизводить на имитационной модели случайный процесс появления отказов элементов машины по мере роста наработки, и проследивать последствия их упреждения за счет превентивных замен. Нами была разработана компьютерная программа «Богерник», которая реализует случайный процесс $Y=f(t)$. Случайная функция состояния $Y(t)$ задается, следуя В.М. Михлину ее математическим ожиданием $\bar{Y} = V_c t^\alpha$ и плотностью распределения интенсивности (квазискорости) изменения параметра состояния (интенсивности потери годности элемента машины) $\Phi(V_c)$. Параметрами этой функции являются:

среднее значение интенсивности изменения функции состояния $\bar{V}_c = 1$;

коэффициент вариации интенсивности изменения функции состояния $v_{V_c} = \frac{\sigma_{V_c}}{\bar{V}_c}$, значения которого изменяются в интервале 0,2..0,4 через 0,1;

параметр $\alpha=1 \dots 2$, шаг изменения которого равен 0,1;

наработка до j -го контроля в i -ой реализации $t_{конт\ j\ i}$.

Задача состоит в отыскании такого значения состояния элемента Y^* , при котором затраты на единицу рабочего времени будут минимальными, т.е.

$$Y^* \text{ при } \sum_{i=1}^{n,m} \frac{W}{T} \rightarrow \min, \quad (10)$$

где n - число реализаций; m - число межконтрольных периодов.

При моделировании параметры: $Y_{ij}=1$ и $T=1$, α и V_c задаются в определенном интервале, аргументы C_{np}^0 и m варьируются. Определяются:

- число аварийно замененных элементов $\frac{n_a}{T_c}$ в расчете на единицу наработки;
- число профилактически замененных элементов $\frac{n_p}{T_c}$ в расчете на единицу наработки в функции Y_{ij} и $t_{конт\ j\ i}$;
- суммарные удельные издержки $W_{\Sigma} = \frac{\Sigma W}{T}$ на единицу наработки в функции C_{np}^0 и m ;

- приведенное оптимальное значение состояние элемента

$$Y_{\delta}^{0*} = \frac{Y_{\delta}^*}{Y_{\Pi}} = f(C_{np}^0, m).$$

Блок-схема алгоритма модели приведена в диссертации.

С целью проверки выполнения необходимых условий для полноценного комплексного моделирования процессов изменения состояния элементов и отыскания для них эффективных управленческих решений было проведено экспериментальное исследование некоторых элементов лесозаготовительной техники.

Измерению параметров состояния были подвергнуты детали 8 наименований различных узлов лесозаготовительных машин. Анализ осуществлялся по результатам микрометража около 100 деталей одного наименования, поступивших для ремонта на Сыктывкарский, Кировский и Йошкар-Олинский заводы.

В табл. 1 сведены основные характеристики сложенных функций изменения параметров $Y(t)$ и основные характеристики распределений квазискорости изменения этого параметра.

Таблица 1

Основные характеристики случайных функций изменения параметра состояния элементов лесозаготовительных машин от наработки

Наименование элемента	α	\bar{V}_c , мм/тыс. мото-часов	V_c	Распределение V_c
1	2	3	4	5
Вал коленчатый, износ коренных шеек	1,34	0,38	0,78	Вейбулла
Вал распределительный, износ кулачков на высоте	1	0,17	0,22	Нормальное
Шестерня ведущая, толщина зуба	1,63	0,44	0,81	Вейбулла
Звено гусеницы, износ прочины	1,47	1,14	0,99	Экспонента
Шкив тормозка, износ по ϕ	1,35	0,28	0,93	Вейбулла
Каток тележки гусениц, износ боковой поверхности наружных буртов	0,98	0,71	0,45	Нормальное
Звездочка механизма срезания, износ зубьев по толщине	1	0,22	0,79	Вейбулла
Цепь пильная, износ режущей кромки зуба	1,46	0,22	0,68	Вейбулла

Вид полученных при этом корреляционных функций характеризует их стремление к постоянному значению, что говорит о приблизительной стационарности процесса.

Отношение значений издержек при отказе элемента к затратам на его предупредительную замену - ключевой параметр профилактики. Особенно велико влияние на стратегию профилактики значений потерь от простоя машины.

Зная динамику этих характеристик, можно пересчитать управляющие параметры и спрогнозировать величину нормированных потерь от простоя машины с учетом тенденций изменений, которые происходят в отрасли.

Отмечалось, что при существующих рыночных паритетах цен на лесозаготовительные машины и их продукцию, стратегия превентивных замен еще работоспособных элементов во многом теряет свою эффективность. Мы ставили задачу определения границы этой зоны критичных для профилактики ценовых па-

ритетов, установив тем самым зону экономически целесообразной трансформации C_{III}^2 в C_{III}^1 . Для этих целей была использована компьютерная программа «Богерник» Моделирование велось с учетом нестационарного участка потока отказов и замен. На основании результатов моделирования построен график изменения издержек ремонтного обеспечения элемента машины в зависимости от величины допускаемого значения контролируемого параметра состояния и нормированных потерь от простоя машины при отказе (рис. 2). Можно заметить, что минимум издержек при уменьшении C_{np}^0 сдвигается в сторону меньших значений упреждающего допуска ΔY_{II} , а сам минимум при $C_{np}^0 < 1$ имеет нечеткий и, на что необходимо обратить внимание, несимметричный характер

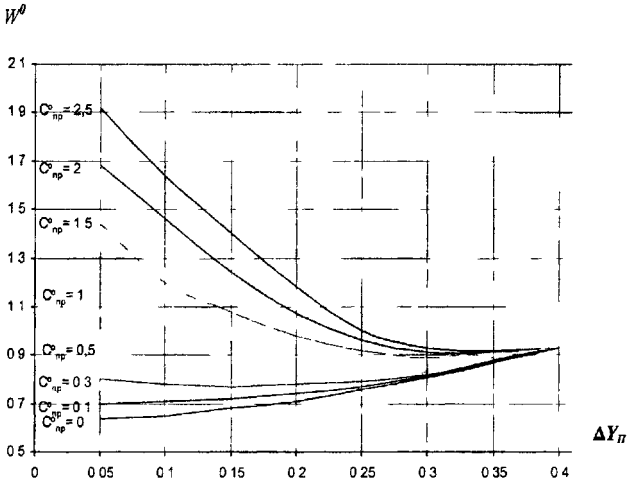


Рис. 2. Изменение издержек ремонтного обеспечения элемента W^0 в зависимости от величины упреждающего допуска ΔY_{II} и потерь от простоя C_{np}^0

При $Y_{II} \geq 0,35$ практически все элементы заменяются предупредительно и не достигают предельного состояния. Этим объясняется отсутствие изменений удельных издержек после значения $W^0 \approx 0,9$ при изменении нормированных потерь от простоя C_{np}^0 . Введение в систему ремонтного обеспечения элемента упреждающего допуска на предельное значение параметра состояния имеет экономический смысл только для $C_{np}^0 \geq 0,5$. При меньших значениях элемент целесообразно заменять только после достижения предельного состояния. Естественно, если это не противоречит условиям безопасности.

Теоретически уменьшить потери запаса годности элемента при его превентивной замене возможно за счет увеличения частоты контроля. Однако результаты исследований показали, что возможности здесь невелики. Например, четырёхкратное увеличение числа диагностических операций увеличивает использование в этих условиях запаса потенциальной годности элемента всего на 10%.

Проведенное выше исследование указывает на необходимость *существенной корректировки ремонтной документации* в части допустимых при ремонте размеров или других параметров состояния, нормативные значения которых были оптимизированы в экономических условиях, существенным образом отличающихся от нынешних.

В диссертации разработан алгоритм пересчёта и произведена корректировка нормативных данных для некоторых деталей лесозаготовительных машин

В работе показано, что при $C_{np}^0 < 0,3-0,5$ стратегия C_{III}^2 управления надёжностью и использованием запаса годности элемента машины с двумя контролируемыми значениями параметра состояния (предельным и допустимым) вырождается в стратегию C_{III}^1 с одним управляющим параметром $Y_{п-д}$

В работе получена зависимость, позволяющая определить среднюю величину оптимального предельного отклонения от номинального значения параметра состояния $\Delta \bar{Y}_{п-д}$, соответствующую минимуму издержек на реновацию и техническую эксплуатацию, подсчитанных за год или за 1000 мото-часов наработки:

$$\Delta \bar{Y}_{п-д} = \bar{V}_c \left[\frac{1}{(\beta - 1)D_0} \right]^{\frac{\alpha}{\beta}} \quad \text{при } \beta > 1. \quad (11)$$

Как видно из (11) $\Delta \bar{Y}_{п-д}$ зависит от четырех величин α , V_c , β и D_0

Первые две характеризуют чисто техническую сторону процесса старения элемента - интенсивность убыли его годности по мере использования. Вторые два, т.е. β и D_0 , зависящие от технического совершенства конструкции, главным образом безотказности и ремонтнопригодности, одновременно характеризуют и экономические условия, в которых эксплуатируется машина, в первую очередь, организацию технического сервиса, обуславливающую уровень издержек при устранении последствий отказов и неисправностей.

При $\beta = 1$ выражение (11) обращается в бесконечность, что означает линейный характер роста удельных издержек в выражении

$$W_\lambda = C_s + Bt + Dt^\beta \quad (12)$$

где C_s - стоимость элемента, руб., Bt - затраты, пропорциональные наработке t руб., Dt^β - прогрессирующая часть издержек, связанная со старением, руб

и отсутствие экстремума, определяющего возможность выбора оптимальной величины предельного значения параметра состояния. Остановка процесса использования элемента в этих условиях связывается со сроком службы самой машины.

В табл. 2 приведены значения параметров, используемых при демонстрации результатов (табл. 3) расчетов для определения $\bar{Y}_{п-д}$ некоторых деталей.

Таблица 2

Значения коэффициентов и параметров уравнения издержек при технической эксплуатации элемента машины

№ п/п	Наименование детали	$W = Bt + Dt^\beta$		β	D , руб./тыс. мото-ч.	$D_0 = \frac{D}{C_s}$, 1/тыс. мото-ч.
		C_s , руб.	руб./тыс. мото-ч.			
1	Коленчатый вал 14-04-610	4620	226	1,84	1174	0,25
2	Вал распределительный 14-05-01	3680	360	2	596	0,16

Таблица 3

Однограничный допуск на предельное отклонение параметра состояния некоторых элементов лесозаготовительных машин от их номинальных значений с полным использованием годности этих элементов (в мм и ед. допуска на изготовление).

№ п/п	Наименование детали и параметра ее состояния	δ , допуск на изготовление, мм	\bar{V}_c ,	$\frac{\bar{V}_c}{\delta}$,	$\Delta \bar{Y}_{n-\delta}^0$, мм	$\Delta \bar{Y}_{n-\delta}$, единиц δ
			ср. интенс. изнашивания, мм/тыс. мото-ч.			
1	Коленчатый вал 14-04-С10 диаметр коренных шеек	0,015	0,038	2,5	0,44	29
2	Вал распределительный 14-05-01 износ кулачков по высоте	0,22	0,17	0,8	1,05	4,8

В третьей главе описаны методики и результаты исследования полноты использования технического ресурса лесозаготовительных машин в зависимости от степени реализации эффекта попутности при заменах составных частей. Машина рассматривалась как система, состоящая из n стареющих элементов Э с монотонно возрастающей интенсивностью отказов.

Продолжительность работы любого элемента до его ресурсного отказа задана функцией распределения $F_l(t)$, $l=1,2,\dots,n$. Поскольку элементы в смысле надежности во многих случаях можно считать независимыми, вероятность их одновременного выхода из строя пренебрежимо мала. Это, в частности, относится к крупным агрегатам: коробке передач, трансмиссии, двигателю и т.п. Однако они довольно часто зависят по стоимости замен или ремонтов.

$$C_{sy} = (1 - \beta_y) (C_{si} + C_{sj}), \quad 0 \leq \beta_y \leq 1 \quad (13)$$

Если C_{si} и C_{sj} , соответствующие стоимости отдельных замен или ремонтов элементов Э_i и Э_j, то для зависимых элементов стоимость их совместной замены меньше суммы отдельных замен. Этот эффект оценивается коэффициентами β_y .

В работе показано что получаемые математические выкладки при аналитическом решении задачи достаточно сложны даже для простейшей системы, состоящей из двух элементов и управляемой по наработке. Если число рассматриваемых в машине элементов, техническое состояние которых оценивается в момент контроля, увеличивается, то сложность расчетов и определения оптимальной стратегии замен возрастает еще больше.

Это побуждает искать обобщенные групповые подходы, приемлемые для решения.

Одним из наиболее эффективных методов решения практических задач является моделирование процесса с помощью ЭВМ. Метод статистических испытаний позволяет использовать алгоритм, воспроизводящий все элементарные события исследуемого процесса. С этой целью разработана программа, реализующая в системе BASIC описанный алгоритм. С ее помощью можно осуществлять многие исследования по оптимизации параметров управления процессами технической эксплуатации машин. Нас будут в первую очередь интересовать те из них, которые позволяют проводить взвешенную техническую политику в отношении сбережения технических ресурсов лесозаготовительных машин.

Моделирование сводится к определению числа отказов, ремонтов, замен, затрат и издержек при эксплуатации машины в течение срока службы T_c для различных вариантов управления техническим состоянием машины, состоящей из n элементов с заданными распределениями характеристик безотказности при разных значениях следующих управляющих параметров:

- $\Gamma_{\Sigma 1}$ - предельный запас годности машины,
- T_{Π} - время наработки до профилактического осмотра,
- C_{np}^0 - относительные потери от простоя машины,
- τ_r - гарантийная наработка машины после профилактики,
- q - уровень восстановления машины.

Конечной целью моделирования является отыскание такой комбинации управляющих параметров, при которой достигается минимум издержек.

В данном случае критерием оптимальности будет саузить

$$\min W_{\Sigma}^0(\Gamma_{\Sigma 1}, T_{\Pi}, \tau_r, q) = \Sigma W^0 + \Sigma W^0 + \Sigma W^0 \quad (14)$$

где W^0 - относительные издержки при отказах, W^0 - относительные издержки при погупных заменах, W^0 - относительные издержки при заменах по результатам планового контроля.

В качестве системы, исследуемой на эффективность групповых ремонтных воздействий, был выбран трелевочный трактор типа ТТ-4, который до сих пор является одним из основных марок лесозаготовительных машин. Мы будем рассматривать этот трактор, как систему, состоящую из 5 основных элементов: двигатель, коробка перемены передач, задний мост, конечные передачи, тележки с гусеницами.

Анализ ремонтного фонда, проводился в зоне, обслуживаемой Монетным ремонтным заводом Свердловской области (группа I), и в зоне, тяготеющей к Сыктывкарскому ремонтному заводу (группа II).

Математическая обработка этих данных проведена по программе Excel-97 и состояла в подборе подходящих законов распределения по каждому варианту

каждого агрегата, вычислении параметров этих распределений и критерия согласия χ^2 . Предварительно исходные данные по критерию Ирвина проверялись на выпадающие точки, которые из дальнейших расчетов исключались.

В процессе формирования информационной базы для моделирования были собраны данные о параметрах надёжности элементов трактора, трудоемкости совместных замен, рассматриваемых составных частей трактора типа ТТ-4 в зависимости от состава группы элементов и стоимостных характеристик, рассматриваемых элементов трактора по состоянию на май 2001 г. Эти характеристики, безусловно, изменчивы. Поэтому в процессе исследования мы оперировали относительными показателями, нормируя стоимость элементов как новых, так и отремонтированных, в единицах стоимости нового трактора.

Анализ результатов моделирования процесса ремонтного сопровождения тракторов типа ТТ-4 вёлся с двух позиций, с использованием количественных (числа ремонтных воздействий) и экономических (стоимости издержек) характеристик при различных уровнях восстановления машины.

В табл. 4 и табл. 5 приведены полученные результаты, характеризующие зависимости числа капитальных ремонтов N_m , числа послеотказных замен элементов N_z , числа рассматриваемых наименований элементов k в функции предельного уровня запаса годности машины $\Gamma_{\Sigma J}$ при назначении ей капитального ремонта для различных уровней восстановления q .

Анализ полученных данных показывает, что увеличение значений предельного запаса годности, являющегося управляющими параметрами при выборе условий проведения капитального ремонта трактора, приводит к незначительному уменьшению количества отказов и вынужденных замен элементов при многократном увеличении за срок службы необходимого числа капитальных ремонтов.

Так, например, увеличение допуска $\Gamma_{\Sigma J}$ трактора типа ТТ-4 с 0,04 до 0,4, т.е. в 10 раз, количество отказов уменьшается всего в 1,5-3 раза. А количество капитальных ремонтов за срок службы увеличивается с 0,001 до 2,44. Это обстоятельство указывает на наличие жестких условий эффективности капитального ремонта как одного из инструментов ремонтного обеспечения технической эксплуатации. Но при этом изменение глубины ремонтного воздействия, т.е. q , изменяет не только суммарное число ремонтов отдельных агрегатов, но и структуру этой суммы, даже при одном и том же значении $\Gamma_{\Sigma J}$.

В качестве экономической характеристики применимости капитальных ремонтов использовались нормированные издержки W^0 , от простоя трактора из-за отказа i -го элемента

$$W^0_i = (C_{S_i} / C_{Sm}) + (C_{np_i} / C_{Sm}) = \gamma_i + (\gamma_i C^0_{np} / C_{Sm}) = \gamma_i + (1 + C^0_{np}), \quad (15)$$

где C_{np_i} - потери при простое машины из-за отказа i -го элемента, руб., C_{S_i} - стоимость этого элемента, руб.; γ_i - удельный вес i -го элемента в стоимости машины.

В процессе моделирования произведен расчет суммарных издержек в течение срока их эксплуатации при реализации стратегии использования запаса годности тракторов типа ТТ-4 в рамках альтернативы: замена отказавшего элемента - капитальный ремонт трактора (табл. 6,7)

Суммарное число ресурсных отказов элементов ТТ-4М (ТТ-4) и их групповых превентивных замен при капитальных ремонтах трактора за 10000 мото-ч

Таблица 4

Элементы трактора	$\Gamma_{\Sigma\Pi}$ - суммарный предельный запас годности при проведении капитального ремонта трактора с $q=1$													
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36	0,40
Трактор в сборе	0	0,001	0,008	0,032	0,07	0,13	0,25	0,36	0,70	1,02	1,38	1,75	2,05	2,44
1 Двигатель	1,78	1,78	1,78	1,75	1,72	1,67	1,53	1,46	1,19	0,94	0,70	0,54	0,40	0,28
2 КП П	3,13	3,13	3,10	3,08	3,09	3,13	2,99	2,92	2,76	2,60	2,49	2,30	2,12	1,94
3 Задний мост	2,44	2,44	2,43	2,40	2,36	2,28	2,17	2,12	1,80	1,66	1,44	1,24	1,08	0,92
4 Конечные передачи	2,82	2,82	2,83	2,82	2,79	2,69	2,66	2,56	2,42	2,20	1,96	1,77	1,64	1,51
5 Тележки с гусеницами	3,33	3,33	3,32	3,29	3,25	2,20	3,10	3,02	2,76	2,50	2,26	1,98	1,79	1,60
$\sum n_{\Sigma} + k n_M$	13,50	13,50	13,50	13,50	13,56	13,62	13,70	13,88	14,43	15,00	15,75	16,05	17,25	18,45
$(\sum n_{\Sigma} + k n_M) / \sum n_{\Sigma}$	1	1	1	1	1,01	1,01	1,01	1,03	1,07	1,11	1,17	1,19	1,28	1,37

Таблица 5

Элементы трактора	$\Gamma_{\Sigma\Pi}$ - суммарный предельный запас годности при проведении капитального ремонта трактора с $q=0,7$												
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	
Трактор в сборе	0,001	0,09	0,04	0,14	0,31	0,52	0,77	1,10	1,7	2,27	2,85	3,45	
1 Двигатель	2,22	2,25	2,21	2,13	2,03	1,85	1,62	1,36	0,93	0,70	0,43	0,40	
2 КП П	4,24	4,22	4,24	4,13	3,96	3,89	3,79	3,63	3,39	3,10	2,87	2,65	
3 Задний мост	3,16	3,15	3,11	3,03	2,88	2,74	2,56	2,33	1,93	1,60	1,42	1,36	
4 Конечные передачи	3,88	3,82	3,77	3,37	3,60	3,42	3,25	3,07	2,70	2,48	2,23	2,0	
5 Тележки с гусеницами	4,43	4,42	4,39	4,32	4,15	4,04	3,86	3,54	3,19	2,87	2,44	2,04	
$\sum n_{\Sigma} + k n_M$	17,93	17,95	17,92	18,04	18,17	18,54	18,93	19,43	20,88	22,33	23,64	25,68	
$(\sum n_{\Sigma} + k n_M) / \sum n_{\Sigma}$	1	1	1	1,01	1,01	1,03	1,06	1,08	1,16	1,25	1,32	1,43	

k - число рассматриваемых наименований элементов машин

Таблица 6

Суммарные нормированные в долях стоимости новой машины издержки W_{Σ}^0 на устранение последствий отказов трактора типа ТТ-4 и его капитальный ремонт с полным восстановлением исходной надежности, $q = 1$

С ^о _{пр}	I _{ΣД}														
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36	0,40	0,44
0,1	2,583	2,583	2,584	2,581	2,588	2,597	2,604	2,641	2,729	2,826	2,959	3,123	3,315	3,497	3,690
0,3	3,009	3,009	3,014	3,004	3,006	3,007	2,996	3,021	3,066	3,125	3,222	3,349	3,501	3,672	3,822
0,5	3,534	3,534	3,533	3,809	3,516	3,504	3,470	3,480	3,475	3,489	3,540	3,625	3,675	3,884	3,499
1,0	4,642	4,642	4,639	4,616	4,595	4,562	4,481	4,460	4,436	4,263	4,218	4,213	4,240	4,336	4,661
1,5	5,854	5,854	5,848	6,009	5,779	5,700	5,586	5,332	5,298	5,110	5,959	4,855	4,843	4,831	4,900
2,0	2,962	2,962	6,954	7,193	6,770	6,778	6,596	6,510	6,168	5,884	5,637	5,444	5,361	5,284	5,252
2,5	8,353	8,353	8,342	8,565	8,214	8,102	7,854	7,727	7,239	6,826	6,447	6,141	5,924	5,807	5,735
3,0	9,284	9,284	9,270	9,199	9,119	8,995	8,712	8,566	7,991	7,506	7,056	6,675	6,381	6,232	6,200

* соответствует $W_{\Sigma}^0 \rightarrow \text{млн}$

Таблица 7

Суммарные нормированные в долях стоимости новой машины издержки W_{Σ}^0 на устранение последствий ресурсных отказов агрегатов трактора ТТ-4М и его капитальный ремонт с неполным восстановлением исходной надежности $q=0,7$

С ^о _{пр}	Г _{ДП}												
	0,04	0,08	0,12	0,16	0,2	0,24	0,28	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48	
0,3	2,936	2,875	2,874	2,861	2,918	3,037	3,147	3,411	3,627				
0,5	3,437	3,362	3,318	3,240	3,239	3,316	3,381	3,629	3,928				
1,0	4,505	4,395	4,264	4,048	3,931	3,920	3,982	4,100	4,379	4,686			
1,5	5,662	5,515	5,290	4,690	4,677	4,572	4,445	4,610	4,841	5,109			
2,0	6,728	6,546	6,234	5,730	5,368	5,177	4,956	5,081	5,271	5,488	5,680		
2,5	7,885	7,669	7,260	6,605	6,115	5,829	5,508	5,590	5,732	5,923	6,038		
3,0	8,951	8,700	8,206	7,412	6,806	6,433	6,018	6,061	6,162	6,316	6,395	6,637	
5,0	12,678	12,309	11,496	10,213	9,183	8,507	7,766	7,664	7,617	7,643	7,72	7,79	

При рассмотрении указанных результатов моделирования могут быть сделаны следующие выводы.

Значимая эффективность качественного капитального ремонта ($q = 1$), как группового превентивного восстановления трактора типа ТТ-4, наблюдается только в тех случаях, когда потери при отказах машины в 1,5...2 и более раз превышают стоимость отказавшего элемента ($C_{np}^0 \geq 1,5 \dots 2$). Однако для реальных рыночных условий указанные экономические соотношения нетипичны.

Для существующих условий, т.е. при $C_{np}^0 < 1$, целесообразно полное использование составных частей машины до исчерпания их ресурса с последующей индивидуальной заменой изношенного агрегата, т.е. $\Gamma_{ЭП} = 0$, естественно, если это не влияет на условия безопасной эксплуатации машины.

Неполное восстановление исходной надежности, элементов трактора при капитальном ремонте с адекватным уменьшением его стоимости несколько снижает ограничения на допустимые условия назначения этого группового превентивного ремонтного воздействия. Но и при этом проведение капитального ремонта является эффективным только для машин, изношенность которых к моменту назначения ремонта более 80%.

Таким образом, капитальный ремонт следует рассматривать как граничный случай группового ремонта (замены) элементов, к которому следует прибегать в предупредительных целях, либо при ресурсном отказе одного из них, но на фоне значительной общей изношенности машины, оцениваемой при контроле ее состояния.

В работе были рассмотрены менее радикальные варианты технического сопровождения процесса эксплуатации машин. Эти варианты предусматривали в случае отказа одного из элементов или при проведении планового контроля в момент $T_{П}$ замену или ремонт только тех составных частей, состояние которых не обеспечивает в течение некоторой гарантийной наработки τ_r с заданной вероятностью безотказную работу системы.

Наша задача сводилась к поиску такой комбинации τ_r и $T_{П}$, при которых издержки эксплуатации были бы минимальны (рис. 3) по сравнению с издержками, возникающими при технической политике, предусматривающей проведение капитальных ремонтов.

Результаты расчётов суммарных издержек W_{Σ} на ремонтное обеспечение процесса эксплуатации тракторов типа ТТ-4 для различных вариантов их профилактики и условий использования приведены в табл. 8.

Достаточно очевидно, что именно стратегия технического обслуживания без использования капитальных ремонтов, но с превентивными заменами элементов, обеспечивающими ту или иную безотказную наработку, более эффективны в нынешних условиях при $C_{np}^0 = 0,5 \dots 1,0$.

Отказ от применения капитального ремонта с полным восстановлением, т.е. $q = 1,0$ и переход к текущему агрегатному ремонту с превентивной заменой отдельных составных частей на новые, обеспечивает экономический эффект, который колеблется от 38 до 85 руб. за мото-ч. работы (в ценах 2002 г.).

Суммарные нормированные и абсолютные издержки W_{Σ} на ремонтное обеспечение эксплуатации трактора типа ТТ-4 по вариантам его групповой профилактики и условиям использования

Особенности групповой профилактики	Номер строки W_L п/п	C_{np}^0				
		0,3	0,5	1,0	2,0	3,0
Капитальный ремонт	1	3,0	3,48	4,21	5,25	6,2
$q = 1,0$						
то же	2	2,86	3,24	3,92	4,96	6,06
$q = 0,7$						
агрегатный ремонт	3	2,45	2,45	2,46	2,46	2,46
$q = 1,0; \tau_r = 300$ мото-ч						
то же	4	2,76	2,89	3,14	3,72	4,26
$q = 1,0; \tau_r = 1000$ мото-ч						
то же	5	3,34	3,35	3,36	3,38	3,38
$q = 0,7; \tau_r = 300$ мото-ч						
то же	6	3,85	4,53	5,65	7,44	8,9
$q = 0,7; \tau_r = 1000$ мото-ч						
$W_{\Sigma 1}^0 - W_{\Sigma 3}^0 = \Delta W_{\Sigma}^0$	7	0,55	1,03	1,75	2,79	3,74
ΔW_{Σ} руб/мото-ч	8	35,6	66,7	113,4	180,8	242,4
$W_{\Sigma 2}^0 - W_{\Sigma 4}^0 = \Delta W_{\Sigma}^0$	9	0,24	0,59	1,07	1,53	1,94
ΔW_{Σ} руб/мото-ч.	10	15,6	38,2	85,5	99,1	126,0
$W_{\Sigma 2}^0 - W_{\Sigma 5}^0 = \Delta W_{\Sigma}^0$	11	-0,48	-0,11	0,56	1,58	2,68
ΔW_{Σ} руб/мото-ч.	12	-31,1	-7,13	36,3	102,4	173,7
$W_{\Sigma 1}^0 - W_{\Sigma 6}^0 = \Delta W_{\Sigma}^0$	13	-0,99	-1,29	-1,73	-2,48	-2,84
ΔW_{Σ} руб/мото-ч.	14	-64,1	-83,6	-112,1	-160,7	-184,0

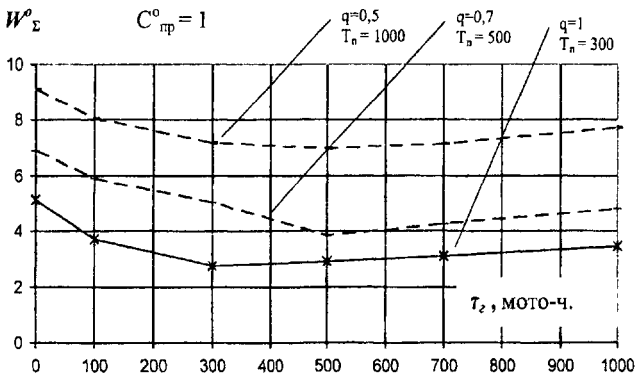


Рис.3 Нормированные суммарные издержки W_{Σ}^0 технической эксплуатации трактора типа ТТ-4 за 10000 мото-ч в функции значений параметров стратегии его ремонтного обеспечения без капитальных ремонтов.

Однако при ремонтных процедурах с неполным восстановлением ($q = 0,7$) и соответственно меньшей стоимостью как ремонта машины целиком, так и ремонта ее отдельных агрегатов, капитальный ремонт становится конкурентоспособным средством групповой профилактики при небольших $C_{np}^0 \leq 5$. Таким образом, капитальный ремонт с частичным восстановлением исходной надежности, сохраняет свою экономически оправданную нишу, если он не отягощен длительными гарантийными обязательствами.

Четвёртая глава посвящена исследованию влияния производственно-экономических факторов на техническую политику ресурсосбережения, т.е. на темпы и объёмы пополнения, обновления, модернизации и ремонта парка лесозаготовительных машин.

В процессе работы создана экономико-математическая модель и проанализированы некоторые методики её применения с позиций предприятия, использующего определённый парк машин для выполнения запланированного объёма работ. Мы исходили из того, что целью функционирования рассматриваемого лесозаготовительного предприятия как системы, в которую входит парк лесозаготовительных машин, является производство продукции, приносящей прибыль.

Если известна динамика платежеспособного спроса в натуральной форме $W(t)$ на данный вид лесоматериалов на перспективу, предприятие может сформировать производственную мощность парка лесных машин $Y(t)$ различными способами, используя новые или подержанные машины, заменяя или ремонтируя парк этих машин, обеспечивая равенство

$$W(t) = Y(t), \quad (t_1 \leq t \leq t_2) \quad (16)$$

Тогда необходимая производственная мощность парка определяется уравнением

$$Y(t) = N_1 Q_c(t) y(t) + \int_1 u(t-\tau) Q_c(\tau) y(\tau) d\tau \quad (17)$$

Здесь: N_1 - наличие машин в момент t_1 ; $t_1 = t_0 + T_1$

$T_1 = \int f_c(t) dt$ - средняя продолжительность эксплуатации парка машин в момент t

$Q_c(t) = 1 - F_c(t) = 1 - \int_0^t f_c(\tau) d\tau$ - функция долговечности.

Считая производительность единичной машины, зависящей от времени, мы предполагаем учитывать её изменение в зависимости от длительности эксплуатации машин или в связи с заменой на новую, более современную (модернизированную), в какой-то момент времени t_i .

Зависимость производительности машины от возраста выразим следующим образом

$$y(t) = y_0 k_w(t) = y_0 (k_{me}(t) - k_{lp}) = y_0 [(1 - V(T_v t) t_p - k_{lp})] \quad (18)$$

где y_0 - потенциальная годовая производительность новой машины в момент t_0 ;

k_w - коэффициент использования машин парка со средним возрастом t ;

k_{me} - коэффициент технической готовности;

- k_{np} - коэффициент простоя исправной машины по организационным причинам,
 $V(t)$ интенсивность восстановления в функции t (среднее число ремонтных воздействий на одну машину парка среднего возраста T_v в год),
 t_p - среднее время пребывания в одном ремонте (в долях года)

Интенсивность восстановления $V(T_v, t)$ в пополняемом, в соответствии с (17), парке машин, может быть определена с использованием интегрального уравнения

$$V(T_v, t) = f(t) + \int_0^t g(t - \tau)h(\tau)d\tau \quad (19)$$

где $f(t)$ и $g(t)$ - плотность распределения наработки до первого ремонта данного вида и между ремонтами соответственно

Парк необходимой мощности N_i для выполнения в любой i -й момент времени t_i заданной программы $W(t)$ может быть создан и обеспечен необходимым пополнением и сервисным сопровождением при разных вариантах технической политики

Например, парк можно интенсивнее пополнять новыми машинами $u(t_i)$, соглашаясь с меньшим сроком их службы и списывая (продавая) «старые» машины с интенсивностью $u_c(t_i)$, а можно, наоборот, ограничивать поставки и эксплуатировать машины дольше, заботясь, в первую очередь, о наиболее полном использовании их технического ресурса. Каждый вариант применяемой при этом стратегии пополнения, обновления, модернизации и ремонта (ПОМР) парка машин имеет свои плюсы и минусы, поскольку им соответствуют разные значения издержек, сопровождающих процесс использования лесозаготовительных машин

Общая сумма указанных затрат в общем виде, в любой момент времени, составит

$$C_{\Sigma} = C_H(t_b, T_c, Z) + C_M(t_b, T_m, q, Z) + C_T(t_b, T_c, T_m, q, Z) + C(t_b, T_c, T_m, q, Z) - C_L(t_b, T_c, T_m, q, Z), \quad (20)$$

где C_H - экономические ресурсы, необходимые для закупки новых машин C_M - ресурсы необходимые для проведения глубоких технических воздействий (капитальных ремонтов, модернизации и т.п.), C_T - ресурсы, необходимые для проведения текущего обслуживания машин парка, C_I - инвестиции на развитие материальной базы технического сервиса C_L - ресурсы, получаемые от реализации списанной техники, Z - общее число постоянных в исходных данных

Оптимизация параметров технической политики состоит в определении срока службы T_c , срока до ремонта (модернизации) T_m , глубины ремонтного воздействия q , доставляющих *min* выражению (20) в интервале $\Delta = t_2 - t_1$ при ограничениях накладываемых функционалом (16), и заданном варианте значений Z

На результаты оптимизации параметров технической политики существенно влияют параметры и переменные, устанавливающие связи парка машин со средой. Такими параметрами и переменными являются прогнозируемые годовые объемы заготавливаемой и стоимости реализуемой древесины, произво-

длительность, надежность и стоимость лесозаготовительных машин; условия дисконтирования затрат, t и e по сути дела, стоимость кредита.

Издержки, связанные с приобретением машины и ее технической эксплуатацией $C_{\Sigma}(t)$, запишем в следующем виде:

$$C_{\Sigma}(t) = S_{m0} \exp[\alpha(t) - \delta(t)] + \int_0^t S_{\tau}(\tau) \exp[\alpha(\tau) - \delta(\tau)] \tau d\tau, \quad (21)$$

где S_{m0} - стоимость замены машины на новую в момент t_0 , руб, $S_{\tau}(\tau) = k S_{m0} t^{\beta}$ - интенсивность изменения издержек технической эксплуатации машины в зависимости от ее возраста, $\exp t - e^t$, k - отношение стоимости технической эксплуатации за $\Delta t = 1$ к цене новой машины в момент t_0 , $\alpha(t)$ - динамика изменения индекса заводских цен на новые машины, $\delta(t)$ - дисконтный фактор, τ - переменная интегрирования, изменяющаяся в интервале от 0 до t

Валовой доход $W(t)$, приносимый машиной за время её использования t , выразим следующим образом:

$$W(t) = y \int_0^t S_{\tau 0} \exp[\psi(\tau) - \delta(\tau)] \tau d\tau. \quad (22)$$

где y - производительность, которую мы принимаем здесь постоянной и независимой от возраста машины, м³/год, $S_{\tau 0} e^{y(\tau)}$ - цена одного м³ лесоматериалов в функции времени, руб, $S_{\tau 0}$ - то же в момент t_0 , $\psi(\tau)$ - фактор изменения цен на лесоматериалы

Будем искать теперь такое $t = T_c^*$, при котором приведенные к начальному моменту t_0 суммарные удельные издержки Θ на техническую эксплуатацию машины и ее замену в момент 0 + T_c за срок службы в расчете на единицу приведенной стоимости произведенных за это время лесоматериалов будут минимальны. Поделив (21) на (22), получим, после некоторых преобразований, сформулированный выше критерий оптимального срока службы лесозаготовительной машины в следующем виде.

$$\Theta = \frac{S_{m0}^0}{y} \left| \frac{\exp[\alpha(t) - \delta(t)] t + k \int_0^t (\tau^{\beta} \exp[\alpha(\tau) - \delta(\tau)] \tau) d\tau}{\int_0^t \exp[\psi(\tau) - \delta(\tau)] \tau d\tau} \right| \rightarrow \min \quad (23)$$

Здесь $S_{m0}^0 = \frac{S_{m0}}{S_{\tau 0}}$ - эквивалент стоимости машин и $S_{\tau 0}$ (в куб м) лесоматериалов в момент $t_0 = 0$

Корень уравнения (23) и есть такой оптимальный срок службы T_c^* (в годах), при котором доля времени, затрачиваемого на производство продукции, эквивалентной по стоимости издержкам на реновацию и техническую эксплуатацию машины будет минимальна

В развернутом виде оптимизируемая функция будет иметь вид

$$\Theta = \frac{\frac{S_{m0}^0}{y} \exp \left(\int_0^t (\alpha_0 - g_{\alpha}) e^{-\alpha_s \tau} + g_{\alpha} \right) d\tau - \left((\delta_0 - g_{\delta}) e^{-\delta_s \tau} + g_{\delta} \right) d\tau}{\int_0^t \exp \left(\left(\int_0^x ((\psi_0 - g_{\psi}) e^{-\psi_s \tau} + g_{\psi}) d\tau - \int_0^x ((\delta_0 - g_{\delta}) e^{-\delta_s \tau} + g_{\delta}) d\tau \right) x \right) dx}$$

$$k(\alpha) \int_0^t \tau^\beta \exp \left(\left(\int_0^t (\alpha_0 - g_\alpha) e^{-\alpha_s \tau + g_\alpha} - \int_0^t (\delta_0 - g_\delta) e^{-\delta_s \tau + g_\delta} d\tau \right) x \right) dx \rightarrow \min \quad (24)$$

$$+ \int_0^t \exp \left(\left(\int_0^x (\psi_0 - g_\psi) e^{-\psi_s \tau + g_\psi} d\tau - \int_0^x (\delta_0 - g_\delta) e^{-\delta_s \tau + g_\delta} d\tau \right) x \right) dx$$

Формула (24) позволяет проанализировать зависимость оптимального срока службы машин от уровня паритета цен и дисконтного фактора как средних значений соответствующих параметров, описывающих инфляционные (дефляционные) процессы при эксплуатации машин за рассматриваемый в решаемой задаче период. Кроме того, (24) дает возможность определить влияние темпов изменения этих параметров во времени, т.е. позволяет учитывать динамику в изменениях цен. Исследование этой функции было произведено с использованием специально созданной для этих целей программы «Козерн».

Было проанализировано влияние дисконтного фактора δ (рис 4), изменения цен на лесоматериалы ψ (рис 5) и на машины α (рис 6), производящие эти лесоматериалы.

Рассмотренная экономико-математическая модель реализуется с помощью разработанной нами компьютерной программы «ПОМР». Программа учитывает *падение производительности машин и снижение их рыночной стоимости* в зависимости от продолжительности их эксплуатации при одновременном возрастании *темпа расходов* на поддержание их в работоспособном состоянии. Указанные процессы рассматриваются с учетом соотношения «цена-качество» при модернизации и ремонте.

В работе собрана и проанализирована информация о динамике парка техническом состоянии и производственной мощности лесозаготовительных предприятий республики Коми, Архангельской и Вологодской областей за 1999-2001 годы. Была разработана методика сбора этих данных. Обработка данных велась с использованием ЭВМ и известных методов обработки статистической информации. Результатом обработки явились закономерности изменения состояния парка машин от следующих параметров, связанных с длительностью их эксплуатации: годовой производительности $y=f(T_v)$, интенсивности текущих затрат $\bar{S}_i(t) = f(t)$, ликвидной стоимости продаваемых машин $S_i = f(t)$, а также стоимость ремонта $S_m = f(q, s_i)$.

Апробация разработанных подходов к формированию стратегии ПОМР и реализующей их программы осуществлялась в двух направлениях:

1. Раскрытие *возможностей программы* путем анализа результатов расчетов параметров вариантов стратегий ПОМР при различных сценариях развития условного лесозаготовительного предприятия,

2. Составление и просчет для *конкретного лесозаготовительного предприятия* нескольких сценариев его развития на ближайшую перспективу (по фактическим данным о состоянии и использовании машин за ретроспективный период).

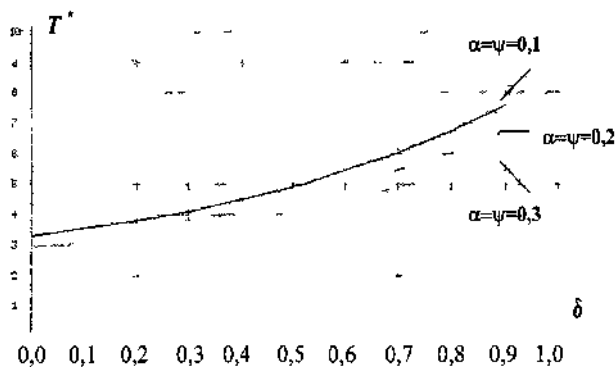


Рис. 4. Изменение оптимального срока службы в зависимости от дисконтного фактора δ при некоторых значениях показателя индекса цен на машины и лесоматериалы ($\alpha=\psi$) и $k=0.1$

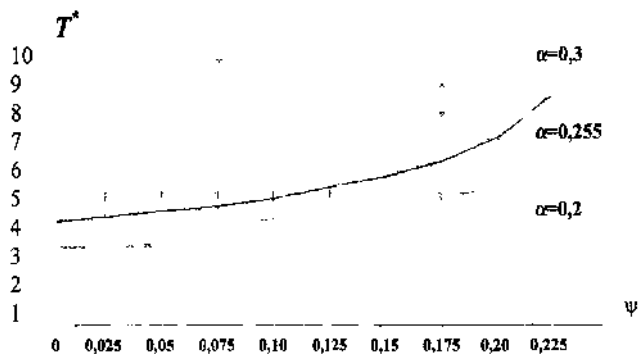


Рис. 5. Влияние роста цен на лесоматериалы на оптимальный срок службы при $\delta=0.15$

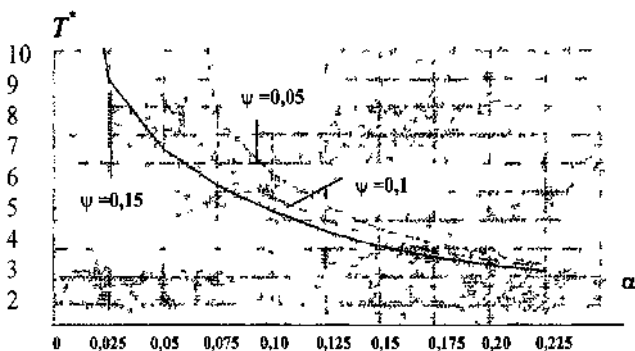


Рис. 6. Влияние изменение стоимости машин на оптимальный срок их службы при $\delta=0.15$

Расчет параметров вариантов стратегий ПОРМ и анализ возможностей программы проводился для условного лесозаготовительного предприятия с достаточно большими мощностями (например, при годовом объеме лесозаготовки 200-300 и более тыс м³/год). Исследовалось, как будут изменяться параметры стратегии ПОРМ, если развитие предприятия будет происходить по различным сценариям. Результаты одного из таких расчетов приведены на рис. 7. Была проведена также апробация программы ПОРМ на ОАО «Майсклес», которое является типичным лесозаготовительным предприятием центра России. На основании проведенной апробации программы ПОРМ методика расчета и полученные результаты признаны руководством ОАО «Майсклес» актуальными и пригодными для практического применения, а программа ПОРМ рекомендована для использования. Отмечено, что программа достаточно эффективно учитывает фактическое состояние парка и экономической среды функционирования ЛПХ. Рассчитанные варианты оптимальной стратегии ПОРМ вскрывают существенные резервы в использовании запаса потенциальной годности машин, в снижении затрат на их реновацию и техническую эксплуатацию. Имеются акты внедрения.

Результаты по годам											
Год	Машины	Мощность	M ₁	C ₁	M	C	Q ₁	N ₁	C ₁	Расходы за год	
2004	106	608	6	600	0	0	721	0	0	1321	
2005	111	600	5	500	0	0	844	0	0	1344	
2006	67	654	56	5600	100	973	469	0	0	5096	
2007	73	652	6	720	0	0	624	0	0	1344	
2008	84	700	11	320	0	0	629	6	60	2209	
2009	91	709	7	840	0	0	1006	5	50	1896	
2010	102	757	11	1430	0	0	1237	56	560	3227	
2011	103	754	1	130	0	0	1243	6	72	1445	
2012	112	807	15	1950	6	116	1429	11	132	3395	
2013	16	805	9	1350	5	97	1595	7	84	2932	
2014	101	851	41	6150	56	1090	1280	11	143	6483	
2015	106	859	11	1650	6	140	1449	1	13	2972	

Параметры оптимальной стратегии		Лесная стоимость парка на конец расчета	7815
Tc - опт. срок службы	3	Расходы за расчетный период	25849
q - уровень восстановления	0,4		
Tm	5		
		Сохранить	Закрыть

Рис.7. Окно интерфейса программы ПОРМ «Результаты расчета»

Выводы и рекомендации по результатам работы

1. Проведенные исследования и разработки позволили:

- сформулировать концепцию эффективного использования потенциальных ресурсных возможностей лесозаготовительных машин, как иерархической структуры, при изменяющихся в рыночных условиях паритете цен на лесоматериалы и используемую для этого технику;

- обосновать, необходимые в этих условиях, ограничения на применение предупредительных ремонтных работ, связанных с неполным использованием ресурсных возможностей машин и их элементов;

- подготовить рекомендации по сближению допускаемых значений контролируемых параметров состояния деталей с предельными значениями, уменьшению потерь остаточного ресурса превентивно заменяемых агрегатов лесозаготовительных машин при групповых ремонтных процедурах, сокращению затрат на закупку машин и техническую эксплуатацию парка лесозаготовительных машин за счет оптимизации параметров управления их техническим состоянием;

- создать методику оптимизации параметров стратегии пополнения, обновления, модернизации и ремонта (ПОМР) парка лесозаготовительных машин (экономико-математическую модель и компьютерную программу).

2. Установлено, что стоимость лесозаготовительных машин и запасных частей к ним, выраженная в эквивалентном объеме вывезенной древесины, выросла с 1990 г в 5 и более раз. В этих условиях существенно снизилась эффективность стратегии предупредительных ремонтов машин и замен их агрегатов и деталей, поскольку они приводят к неполному использованию технического ресурса техники, подорожавшей и в абсолютных и в относительных единицах.

3. Распространённые процедуры оптимизации параметров управления надежностью элементов машин с использованием двухуровневой системы допусков и посадок на значения контролируемых параметров состояния (предельных и допустимых) при складывающихся в настоящее время соотношениях между издержками на превентивную и вынужденную (после отказа) замену элементов лесозаготовительной техники имеют лишь ограниченное применение. В таких условиях становится целесообразным использование элементов машин до практически предельного состояния, если соответствующие значения контролируемых параметров определены по экономическому критерию и не обусловлены соображениями безопасности.

4. Предложена математическая модель для определения единого допуска Y_{n-d} в рамках стратегии технического обслуживания и ремонта «по состоянию» для случаев аппроксимирования издержек эксплуатации элемента непрерывными функциями, которая основана на аналитическом поиске минимума этих издержек в зависимости от значений параметра, контролируемого средствами диагностирования. Созданная компьютерная программа позволяет практически решать вопросы перевода, в необходимых случаях, ремонтной технической документации на одноуровневую систему предельно-допустимых значений параметров состояния.

5 Установлено, что в том диапазоне значений потерь от простоя, для которого ещё сохраняет свою экономическую привлекательность двухуровневая система предельных и допустимых изменений значений параметров технического состояния деталей машин, их ранее вычисленные средние нормативные значения должны быть пересчитаны с учётом новых экономических условий. Для этой цели может быть использована созданная компьютерная программа или предложенная упрощенная методика, обеспечивающая достаточную точность при относительных потерях от простоя машины $C_{пр}^0 \leq 0,8$. Проведённая опытная корректировка ранее назначенных допустимых изменений значений параметров некоторых элементов лесозаготовительных машин обеспечивает увеличение использования их технического ресурса на 20–30 процентных пункта.

6 Предложены критерии, позволяющие определять сроки и объёмы проведения групповых ремонтных процедур, обеспечивающих минимальные эксплуатационные затраты на единицу продукции за срок службы машины.

7 Установлено, что изменение паритета цен на машины и лесоматериалы, производимые ими в пользу первых снизило экономическую привлекательность для лесозаготовительных предприятий, проведение капитальных ремонтов с полным или близким к нему уровнем восстановления лесозаготовительных машин в связи с недоиспользованием технического ресурса агрегатов, заменяемые попутно с отказавшими.

При потерях продукции в связи с заменой отказавшего агрегата, не превышающих в среднем половины его стоимости, т.е. $C_{пр}^0 < 1,5$, практика проведения полнокомплектных капитальных ремонтов с высоким уровнем восстановления ($q > 0,7$) менее конкурентна в сравнении с агрегатным методом ремонта практически при любой изношенности машины.

Проведение капитального ремонта с существенно неполным восстановлением ($q = 0,6–0,7$) эффективно для машин, общая изношенность которых больше 80%.

8 Выявлено, что экономическая обоснованность использования капитального ремонта как инструмента технической политики в отношении лесозаготовительных машин возникает только в ситуациях с их интенсивным старением, выражающимся увеличением темпов роста затрат на техническую эксплуатацию до 15 и более процентов в год и снижением годовой производительности по экспоненциальному закону с параметром экспоненты 0,12 и более.

9 Рекомендована, для сложившегося паритета цен на лесозаготовительные машины и продукцию, производимую ими, менее радикальная групповая ремонтная процедура, чем полнокомпактный капитальный ремонт, а именно ремонтная процедура в виде попутной с отказавшим элементом групповой замены только тех работоспособных агрегатов, которые не обеспечивают определённую гарантийную наработку. При этом продолжительность гарантийной наработки определяется из условия обеспечения минимальных издержек на ремонтное обеспечение за срок службы машины. Разработаны рекомендации по определению продолжительности гарантийной наработки машины.

10 Численным анализом математических зависимостей установлено, что процесс роста цен на лесозаготовительную технику при неизменных значениях остальных переменных и параметров, участвующих в оптимизации сроков службы, приводит к сокращению последних, провоцирует преждевременную замену машин. Рост цен на лесоматериалы в аналогичных условиях действует в противоположном направлении. Инфляция привела к увеличению, по меньшей мере на 40 процентов, сроков службы, ранее рассчитанных как оптимальные.

11. Создана экономико-математическая модель оптимизации управляющих параметров применительно к парку лесозаготовительных машин. Отыскание оптимальных значений управляющих параметров стратегии ПОМР для принятого сценария производства осуществляется для заданного на начало расчетного периода состава парка машин, особенностей их старения, технико-экономических особенностей их модернизации и ремонта, условий реализации подержанной техники на вторичном рынке. Предпочтительной признаётся такая стратегия, которая реализует принятый сценарий развития производства при минимальных суммарных затратах на покупку новых машин и техническую эксплуатацию их парка с зачётом остаточной ликвидной стоимости парка на конец расчётного периода. Создана компьютерная программа, реализующая вариант этой модели, с помощью которой выполнено большинство расчётов.

12. Подтверждено, что реализация полученных результатов работы заводами лесного машиностроения и лесозаготовительными предприятиями позволяет более полно использовать технический ресурс лесозаготовительных машин, снизить материальные затраты на создание и поддержание парка лесозаготовительных машин в исправном состоянии.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:*В монографиях и учебниках*

- 1 Игнатов В И, Еремеев Н С , Селиванов А А Научные основы формирования стратегии технического обслуживания и ремонта лесных машин - М МГУЛ, 2000 - 338 с
- 2 Еремеев Н С , Игнатов В И, Тинятов В И Конкурентоспособность Экономическая безопасность предприятий лесного машиностроения М, ЦНИИМЭ, 2003 - 372 с
- 3 Котиков В М, Еремеев Н С , Ерхов А В Лесозаготовительные и трелевочные машины Учебник для нач проф образования М Издательский центр «Академия», 2004 - 336 с

В изданиях рекомендованных ВАК для публикации материалов докторских диссертаций

- 4 Воскобойников И В , Еремеев Н С Направление развития лесного машиностроения «Лесная промышленность» 1998, № 2 с 4-5
- 5 Еремеев Н С Задачи технической политики - эффективная эксплуатация машин «Лесная промышленность» 2001, № 1 - с 10-11
- 6 Еремеев Н С Об эффективности предупредительных ремонтных воздействий на лесозаготовительную технику «Приводная техника» 2001, № 2 - с 32-34
- 7 Еремеев Н С Формирование ремонтной политики в лесозаготовительной отрасли «Лесная промышленность» 2002, № 2 - с 15-17
- 8 Еремеев Н С Эффективность групповых превентивных ремонтных воздействий на лесозаготовительную технику «Лесная промышленность» 2002, № 3 - с 27-30
- 9 Еремеев Н С О стратегии обновления модернизации и ремонта парка машин «Лесная промышленность» 2002, № 4 - с 23-25
- 10 Еремеев Н С Стратегия управления техническим состоянием элементов лесных машин «Строительные и дорожные машины» 2003, № 11 - с 20-23
- 11 Еремеев Н С , Игнатов В И, Тюкавин В П Проблемы качества и конкурентоспособности лесных машин «Лесная промышленность» 2003, № 2 - с 2-4
- 12 Еремеев Н С Влияние динамики рыночных цен на стратегию обновления и пополнения парка машин «Лесная промышленность» 2003, № 2 - с 17-20
- 13 Еремеев Н С Зависимость оптимальных сроков службы лесных машин от паритета цен на машины и лесоматериалы «Приводная техника» 2003, № 4 - с 61-63

- 14 Еремеев Н С , Бикмуллин М А, Тинятов В И Компьютерная программа пополнения, обновления, модернизации и ремонта парка машин «Лесная промышленность» 2004, № 1 -с 17-18
- 15 Еремеев НС , Тинятов В И Влияние годовой производительности тракторов на стратегию их пополнения и обновления «Лесная промышленность» 2004, № 2 -с 11-13

В других изданиях

- 16 Воскобойников И В, Тельнов А Ф , Еремеев Н С , Игнатов В И, Быков В В Лесозаготовительной технике - технический сервис Научные труды МГУЛ 2000, № 306 с 17-22
- 17 Еремеев Н С Перспективы развития капитального ремонта лесных машин и их агрегатов с использованием современных методов диагностирования// Тезисы докладов Всесоюзной школы передового опыта/ ВНИ-ПИЭИлеспром, 1988,с 32-37
- 18 Воскобойников И В , Еремеев Н С Оценка качества силовых передач лесозаготовительных машин по параметрам вибрации// Сб научн тр/ЦНИИМЭ, 1988, с 98-104
- 19 Еремеев Н С Диагностика зубчатых пар по виброакустическим параметрам//Научн тр/МГУЛеса, 1988 Вып 200, с 112-117
- 20 Методика диагностирования задних мостов трелевочных тракторов ТДТ-55А (ТЛ-100), М, ВПКТИлесмаш, 1990,15 с
- 21 Еремеев Н С , Воскобойников ИВ , Никифоров В Д Стенд для испытания гусеничных транспортных средств Ас 1603216//Бюллетень изобретений № 40,1990
- 22 Еремеев Н С , Балицкий Ф Н и др Устройство для вибрационной диагностики роторных механизмов Ас 1793269//Бюллетень изобретений № 5, 1993
- 23 Балицкий Ф Я , Еремеев Н С Диагностический виброанализатор технического состояния зубчатых передач/М , 1993, 2 с (Информ лист № 103-93 МГЦНТИ)
- 24 Еремеев Н С Прогнозирование остаточного ресурса деталей по параметрам вибрации/М, 1994,3 с (Информ лист № 79-94 МГЦНТИ)
- 25 Еремеев Н С Технология диагностирования силовых передач лесозаготовительных машин по параметрам вибрации (Технологическая инструкция), М, ГНЦЛПК, 1997,15 с
- 26 Воскобойников И В , Еремеев Н С Нужны машины нового поколения «Промышленник России», 1989,№2 -с 11-12
- 27 Быков В В , Тесовский А Ю , Еремеев Н С и др Справочник по технологическим и транспортным машинам лесопромышленных предприятий и техническому сервису МГУЛ, 2000
- 28 Воскобойников И В , Еремеев Н С Основные направления развития лесного машиностроения (концепция ГНЦ ЛПК) «Промышленность России», 1999, №7 -с 21-23

29. Воскобойников И.В., Еремеев Н.С., Милуков В.М. и др. Передвижная ремонтная мастерская. А.с. № 17692 от 28.12.99 г.
30. Воскобойников И.В., Тельнов А.Ф., Еремеев Н.С. Способ ремонта двигателя внутреннего сгорания. Патент № 2180281.
31. Занегин Л.А., Воскобойников И.В., Еремеев Н.С. Машины и механизмы для канатной трелевки. Учебное пособие. МГУЛ, 2004 - 446 с.
32. Еремеев Н.С., Шевченко В.П., Солонинский Л.В. Технические требования на ремонтпригодность и техническое обслуживание лесозаготовительных машин. ГНЦ ЛПК, 1987 - 26 с.
33. Еремеев Н.С., Ермолев В.П., Тюкавин В.П. и др. Производство конкурентоспособных машин и оборудования для лесозаготовительной промышленности. Отчет о научно-исследовательской работе. ЦНИИМЭ, 2003-277 с.
34. Еремеев Н.С., Бикмулин М.А., Тинятов В.И. и др. Оптимизация пополнения, обновления, модернизации и ремонта парка лесозаготовительных машин. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2005610221.

Просим принять участие в работе диссертационного совета или прислать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 141005, г. Мытищи-5 Московской обл., 1-я Институтская ул., д.1, МГУЛ, учёному секретарю.

Подписано в печать 02.03.2004. Формат 60x90 1/16. Бумага 80 г/м²
Гарнитура «Таймс». Ризография. Усл. печ. л. 2,25. Тираж 100 экз.
Заказ №151

Издательство Московского государственного университета леса. 141005,
Мытищи-5, Московская обл., 1-я Институтская, 1, МГУЛ.
Телефоны: (095) 588-5762, 588-5348, 588-5415. Факс: 588-5109.

05.17 - 05.21

713



22 11 1995