

На правах рукописи



МАНАКОВ Алексей Леонидович

ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И ПРАКТИКА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ОРГАНИЗАЦИИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ
ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ПУТЕВЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ
ОПЕРАЦИОННОГО МЕНЕДЖМЕНТА И ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА

05.02.22 – Организация производства (транспорт)
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Новосибирск - 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский государственный университет путей сообщения» на кафедре «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин».

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Евсеев Дмитрий Геннадьевич

Официальные оппоненты: **Ковальский Виктор Федорович**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения», кафедра «Путевые, строительные машины и робототехнические комплексы», заведующий кафедрой;

Ким Борис Геннадьевич
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», кафедра «Строительное производство», заведующий кафедрой;

Сирина Нина Фридриховна
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения», кафедра «Вагоны», профессор.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»

Защита диссертации состоится «19» декабря 2013 г. в 14-00 на заседании диссертационного совета Д 218.005.09 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» МГУПС (МИИТ) по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 1235.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГУПС (МИИТ).

Автореферат разослан «__» _____ 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Козырев Валентин Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Современная транспортная стратегия России характеризуется увеличением объемов грузоперевозок, что требует высокой организации производства всего комплекса вертикально-интегрированной структуры, обеспечивающей управление движением и инфраструктурой для реализации бизнес-процессов. Главными факторами повышения их эффективности являются техника, технология и организация производства.

Современное технологическое обеспечение путевого комплекса позволяет повысить производительность труда в несколько раз, снижая при этом удельные капитальные затраты на содержание и ремонт железнодорожного пути, уменьшая издержки производства, повышая его рентабельность и качество. При этом особую актуальность приобретает технический сервис путевых и строительно-дорожных машин.

Для решения стратегических задач транспортной отрасли создается новая идеология железнодорожного транспорта в том числе путевого комплекса, как наиболее материалоемкого и играющего существенную роль в обеспечении безопасности перевозок. Ее суть сводится к переходу от ремонта железнодорожного пути в летний период к круглогодичному выполнению объемов работ на закрытых перегонах. Развитие этой идеологии ставит проблемы по развитию и созданию новых технологий, совокупности методов организации производства, обеспечивающих эффективное ведение производственных процессов на базе современного уровня операционного менеджмента и процессного подхода.

Сложившаяся в транспортной отрасли производственная структура эксплуатации транспортно-технологических машин отличается преобладанием малых и средних предприятий, а технический потенциал имеет высокий уровень износа, не позволяющие обеспечить в должной мере модернизацию основных фондов отрасли. Обновление материально-технической базы требует длительного времени и масштабных инвестиций. Однако отставание в эффективности функционирования и развитии региональных транспортных комплексов можно компенсировать за счет совершенствования технического сервиса машин, оптимизации его структуры и операционного менеджмента. В этом случае организационные и управленческие параметры производственной эксплуатации и обслуживания транспортно-технологического машинного комплекса (ТТМК) превращаются в ключевой фактор конкурентоспособности эксплуатационных предприятий (ЭП).

Сложность рассматриваемой проблемы заключается в том, что современный ТТМК существенно неоднороден по своему составу. Он включает достаточно большое количество единиц физически и морально устаревшей техники и высокопроизводительные современные машины, в том числе зарубежного производства, что создает проблемы формирования машинных комплексов и вызывает дополнительные трудности при организации технического обслуживания и ремонта (ТО и Р). Поэтому возникает

необходимость научного обоснования модернизации технического сервиса, позволяющей на основе инновационных технических и организационно-технологических решений своевременно реагировать на возникновение предотказного состояния машин и обеспечивающей сокращение времени их простоя в ТО и Р.

Сложившаяся практика работы путевого комплекса железных дорог ставит проблему развития теории и методов повышения надежности и качества технического сервиса путевых машин. Методология формирования сложной организационно-технической системы является особенно актуальной, поскольку направлена на повышение эффективности эксплуатации ТТМК за счет максимального использования ресурсов машин, снижения затрат при оптимизации количества и периодичности технических воздействий (ТВ), уменьшения числа аварийных простоев и повышения качества работы функциональных подразделений всех уровней.

Имеющиеся в настоящее время научно-практические разработки методов и механизмов организации и управления надежностью и эффективностью обслуживания ТТМК в новых условиях хозяйствования не систематизированы, носят фрагментарный характер и требуют дополнительного исследования. Многие важные направления по развитию систем управления надежностью техническим сервисом парков машин еще остаются нерешенными. Вследствие этого сложилась острая потребность научного обоснования стратегии, форм, структур, методов и способов организационного обеспечения и повышения надежности, результативности и эффективности технического сервиса ТТМК в транспортных системах, в совокупности представляющих собой теорию, методы и практику организации повышения качества и надежности технического сервиса машин.

Таким образом, выбор темы, направление и содержание исследования определяются тенденциями инновационного развития транспортной отрасли, объективной научной необходимостью концептуализации и структурирования проблем организации и управления технической эксплуатацией машинных комплексов, целесообразностью разработки и внедрения новых организационных решений и технологий.

Степень разработанности темы исследования. Отдельные теоретические и прикладные вопросы системных исследований технических и экономических проблем организации производства рассматриваются в работах целого ряда отечественных и зарубежных ученых: М.М. Болотина, П.А. Козлова, В.А. Козырева, В.И. Колесникова, Б.А. Левина, В.А. Персианова, В.А. Шарова, Н.Г. Шабалина, Н.М. Шеремета и многих других.

Проблемы жизнеобеспечения машинных парков строительных и транспортных комплексов были проработаны в трудах М.И. Гриффа, Е.И. Зайцева, Б.Г. Кима, Ю.А. Корытова, С.Е. Максимова, С.Н. Николаева, С.В. Репина и др.

Проблемные вопросы оптимизации технической эксплуатации и технического обслуживания транспортно-технологических машин нашли отражение в работах Н.Г. Гаркави, С.В. Далецкого, В.А. Зорина,

Е.С. Кузнецова, И.А. Луйка, А.И. Шейнина.

Возможности повышения организационно-технологической надежности технических систем исследованы В.Д. Верескуном, А.А. Воробьевым, В.С. Воробьевым, Б.В. Гнеденко, Г.В. Дружининым. Системы технического обслуживания и ремонта машин рассмотрены в работах Д.П. Волкова, Б. Диллона, Р.П. Колегаева, Р.М. Петухова, А.С. Проникова, А.И. Селиванова, Н. Стефакова, Б.Ф. Хазова.

Признавая значимость и отмечая общенаучный характер выполненных ранее исследований, нельзя не отметить недостаточную теоретическую основу развития современной организации повышения качества и надежности систем технического сервиса путевых машин на основе операционного менеджмента и процессного подхода.

Объект исследования. Интегрированные транспортно-технологические машины и организация технического сервиса как важнейшие элементы путевого комплекса.

Предмет исследования. Теория и методология обоснования и практической реализации организационно-технологических процессов повышения надежности и качества технического сервиса путевых машин как сложных производственно-технических систем.

Цель исследования. Обоснование и разработка теоретико-методологических положений и практических рекомендаций по совершенствованию организации и управления техническим сервисом транспортно-технологических машин на основе обеспечения организационно-технологической надежности производственных процессов, направленных на повышение устойчивости и эффективности функционирования путевого железнодорожного комплекса.

Задачи исследования, обеспечивающие достижение цели исследования:

1. Провести анализ эксплуатационных отказов транспортно-технологических машин и выбрать основные и вспомогательные производственные операции, необходимые для формирования операционной структуры технического сервиса.

2. Разработать методологию операционного менеджмента, обеспечивающего организационно-технологическую надежность производственных процессов.

3. Обосновать выбор частных показателей надежности технической эксплуатации и методику их количественной оценки.

4. Разработать новые технологические процессы повышения эксплуатационной стойкости элементов машин, которые могут быть реализованы при выполнении ТО и Р.

5. Создать систему дистанционной диагностики, обеспечивающей непрерывный мониторинг технического состояния транспортно-технологических машин.

6. Реализовать на практике и апробировать в производственных условиях систему непрерывного мониторинга машинных комплексов.

7. Установить порядок прогнозирования времени проведения

обслуживаний агрегатов и узлов, вид и объем которых определяются их фактическим состоянием.

8. Выполнить моделирование функциональной системы для оценки качества обслуживания машинных комплексов.

9. Предложить методику и провести экономическую оценку структурно-ориентированной системы технической эксплуатации машинных комплексов.

Основная идея и область исследования. В ходе исследования проверяются две гипотезы:

- изменение требований современной постиндустриальной инновационной экономики, а также обновление структуры факторов стратегического успеха обуславливает изменения закономерностей, методологических принципов, форм, методов и критериев организации эффективных производственных и технических систем;

- модернизация и инновационный путь развития транспорта трансформируют организационно-производственный механизм осуществления операционной деятельности в структуре технического сервиса.

Область исследования. Диссертационная работа выполнена в соответствии с п. 5 «Разработка научных, методологических и систематических принципов повышения эффективности функционирования и качества организации производственных систем», п. 6 «Разработка и реализация принципов производственного менеджмента, включая подготовку кадрового обеспечения и эффективность форм организации труда» и п. 8 «Развитие теоретических и практических приложений организационно-технологической и организационно-экономической надежности производственных процессов» паспорта специальности 05.02.22 – «Организация производства (транспорт)» (технические науки).

Научная новизна исследования состоит в теоретическом обосновании и экспериментальном подтверждении методов повышения надежности качества технического сервиса комплексов машин как сложных организационно-технических систем.

1. На основе системного и ситуационного анализа результатов функционирования и развития транспортно-технологических комплексов машин выявлены их свойства и определены интегрированные характеристики. Построена концептуально-логическая модель системы технического сервиса машин как объекта управления, позволяющая объединить в единое целое организационные, технические, технологические и производственные процессы.

2. Доказана устойчивая тенденция снижения показателей использования ТТМК в силу недостаточного уровня организационно-технологической надежности технической эксплуатации техники, отставания в развитии сервисных центров обслуживания, слабой адаптивности жестко формализованных, регламентированных систем ТЭ к изменяющимся производственным и экономическим условиям, несовершенства применяемых организационных, технологических и управленческих решений.

3. Разработана методология структурирования и технического сервиса,

основанная на общесистемных и выявленных специфических принципах, в которой повышение эффективности и результативности систем ТО и Р (СТОП) рассматриваются как управляемые процессы, формирующие устойчивое функционирование техники.

4. Выявлены и развиты основные направления и научно обоснованные системные решения по достижению заданного уровня организационно-технологической надежности технического сервиса, включающих непрерывный мониторинг технического состояния ТТКМ, дистанционную диагностику, структурное операционное резервирование, аутсорсинг, тотальное качество, новые технологические и организационные решения, снижающие износ деталей узлов, использование возможностей производственного и оперативного менеджмента, позволяющие создать систему «памяти» машин, что является определяющим фактором снижения непроизводительных издержек и времени, уменьшения энтропии.

5. Осуществлен синтез системы технического сервиса ТТКМ и предложены количественные и качественные показатели надежности и эффективности СТОП, позволяющие сформулировать методологические принципы и построить модели оптимизации частных и интегрированных показателей организационно-технологической и экономической надежности вновь разрабатываемых или модифицируемых систем.

6. Выполнено многоуровневое моделирование и многовекторная оптимизация процессов технического сервиса машин с использованием концептуальных, структурно-функциональных, процессно-операционных, математических и алгоритмических моделей, обеспечивающих получение наилучших технических, технологических, организационных и других решений, состояний и результатов функционирования систем технического сервиса транспортно-технологических комплексов машин (ТСТТКМ), на основе которых установлено, что объектно-ориентированные и структурно-ориентированные системы технического сервиса позволяют сократить непроизводительные потери времени по причине отказов в период проведения путевых работ в 3–5 раз и повысить коэффициент готовности комплекса машин до 0,9.

7. Предложен модельно-методический инструментарий управления надежностью функционирования и эффективностью развития систем технического сервиса, представленный комплексом методик, алгоритмов и программ имитационного моделирования процессов технической эксплуатации, создания гибкой операционной структуры, ранговой оценки сопоставляемых СТОП, непрерывного дистанционного мониторинга и диагностирования состояния машин, внедрения автоматизированной системы сбора и обработки информации, новых технологических процессов ТО и Р машин.

Теоретическая и практическая значимость проведенного исследования, содержащихся в работе выводов, рекомендаций заключается в следующем.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии теории организационно-технологической надежности систем технического сервиса машин на основе операционного менеджмента и процессного подхода.

Разработанные и предложенные к использованию теоретические положения и методологические основы, методы и рекомендации позволяют научно обосновать управление процессами технического сервиса машин, созданием эффективных СТМК и повышением надежности функционирования машинных комплексов, с учетом системных ограничений и приоритетов развития отрасли.

Реализованный в диссертации теоретико-методологический подход и научный инструментарий могут помочь раскрыть сущностные свойства и характеристики конкурирующих систем технического сервиса, выбрать из них наилучшие для конкретных ТТМК.

Апробация разработанного методического комплекса управления организационно-технической надёжностью технического сервиса машин подтвердила целесообразность концепции сопряженного и сбалансированного использования организационных, производственных, технологических, информационных и экономических направлений и факторов повышения эффективности технической эксплуатации ТТМК.

Методология и методы исследования.

Научные труды и разработки отечественных и зарубежных ученых, современные концепции организации и управления сложными организационными и техническими системами, методические и нормативно-справочные материалы, материалы конференций, статьи в периодических изданиях.

В процессе исследования применялись методы системного анализа, учитывающие структурно-функциональный и интегративный аспекты, теории организации производства, экспертных оценок; экономико-математического, статистического и физического моделирования производственных процессов; натурные и численные эксперименты, информационные технологии, методы эвристического прогнозирования.

Информационную основу диссертационного исследования составили факторологические и эмпирические материалы, содержащиеся в трудах зарубежных и отечественных ученых, а также данные, полученные автором в процессе изучения лучших практик организации и осуществления технической эксплуатации машинных парков в крупных дорожных, строительных и транспортных структурах Западной Сибири, материалы законодательного, нормативного и методического характера.

Основные научные положения, выносимые на защиту.

1. Технический сервис машин является сложной системой, поведение которой определяется множеством факторов. В первую очередь это эксплуатационные отказы: прогнозируемые, вызываемые изнашиванием, усталостью, возникающие из-за нарушения технологии ТО и Р (человеческий фактор), доля которых достигает 40–60 %. Минимизация отказов может быть достигнута не только за счет выбора оптимальной периодичности ТО и Р, но и за счет повышения эффективности функционирования всех подразделений ЭП, т.е. за счет совершенствования инфраструктуры ТЭ.

2. Физическая модель СТСКМ представляет собой композицию

операций, к основным из которых относятся организация и планирование, технология ТО и Р, материально-техническое обеспечение, кадры, а к вспомогательным – дистанционная диагностика, новые технологии, аутсорсинг, применение модификаторов трения, подготовка кадров, тотальное качество. Синтез СТСМК определяет ее как организационно-техническую структуру, управление которой осуществляется на принципах операционного менеджмента.

3. Оценка эффективности СТСМК базируется на организационно-технологической и организационно-экономической надежности операций, повышение которой достигается за счет структурного резервирования основных производственных операций вспомогательными, а ее комплексным показателем выбран уровень технического использования ТТМК.

4. Частные показатели надежности отдельных операций, к которым относятся их безотказность, долговечность, рентабельность и «вес», имеют количественные оценки, полученные с использованием обобщенной функции желательности, использование которой устанавливает соответствие между физическими значениями показателей и экспертными оценками.

5. Уровни надежности выполнения машинными комплексами плановых заданий, как функции показателей ТО и Р, определенные в ходе численного эксперимента на разработанных эвристических компьютерных моделях, оцениваются рейтингом качества, составляющим для планово-предупредительной системы 1,862, эталонной, наилучшей – 1,885, разработанной СТСМК – 1,882.

6. Непрерывный мониторинг технического состояния машин, базирующийся на дистанционной диагностике, позволяет перейти от планово-предупредительной системы ТО и Р к обслуживанию и ремонтам отдельных агрегатов и узлов по фактической потребности, объем и состав которых определяется состоянием и остаточным ресурсом обслуживаемых элементов.

7. Дистанционная диагностика, реализуемая с использованием спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС и GSM мобильной связи, обеспечивает получение на центральный диспетчерский пункт информации о техническом состоянии основных агрегатов, формируемой комплектом датчиков и бортовым терминалом, обработка которой с постановкой диагноза ведется в автоматическом режиме.

8. Уровень технического состояния машинного комплекса оценивается суммарной величиной его энтропии, величина которой для отдельной машины, обеспечивающая надежную постановку диагноза, составляет 4,7 бит при 26 контролируемых узлах.

Личный вклад автора состоит:

- в анализе новых тенденций в развитии теории систем технического сервиса машин на основе операционного менеджмента и процессного подхода в соответствии с новым этапом развития современной науки;
- в выборе и обосновании стратегии технического сервиса машин;
- в построении операционной производственно-технической структуры технического сервиса;

- в проведении численных и натурных экспериментальных исследований;
- создании имитационной модели функциональной системы для оценки качества ТО и Р;
- в разработке технологических процессов фрикционной металлизации и улучшения свойств смазочных материалов модификаторами трения;
- в формировании резервированной организационно-технологической экономически управляемой СТСКМ с обратной связью;
- в обосновании стратегии непрерывного мониторинга технического состояния машинного парка на базе дистанционной диагностики;
- в создании и практической реализации технических средств и технологии дистанционной диагностики;
- в разработке организационных, производственных, экономических и информационных аспектов аутсорсинга.

Достоверность результатов обеспечивается соответствием результатов исследования концепции организации и управления сложными организационными и техническими системами, их взаимной непротиворечивостью и определяется адекватностью математических моделей, достаточностью информационной базы, сходимостью результатов теоретического и экспериментального статистических исследований в условиях эксплуатации ТТМК.

Апробация и внедрение результатов работы.

Основные результаты диссертационного исследования докладывались и получили одобрение на шести международных, шести всероссийских и семи региональных научно-практических конференциях.

Международные конференции: «Фундаментальные и прикладные исследования – производству» (Барнаул, 2001 г.); «Технологическое обеспечение износостойкости деталей машин» (Брянск, 2003 г.); «Актуальные проблемы развития транспорта России: стратегические, региональные, технические» (Ростов-на-Дону, 2005 г.); «Проблемы качества машин и их конкурентоспособности» (Брянск, 2008 г.); «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды» (Новосибирск, 2010 г.); «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте – 2010» (Одесса, 2010 г.).

Всероссийские конференции: «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург, 2005 г.); «Современные технологии железнодорожному транспорту и промышленности» (Хабаровск, 2006 г.); VI Всероссийская научно-практическая конференция «Политранспортные системы» (Новосибирск, 2009 г.); Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная 80-летию НГАСУ (Новосибирск, 2010 г.); VII Всероссийская научно-практическая конференция «Политранспортные системы» (Красноярск, 2009 г.).

Результаты исследований внедрены автором на Западно-Сибирской железной дороге (Дирекции по ремонту путевой техники), в ОАО «Сибмост» г. Новосибирск (система дистанционной диагностики, программный комплекс

имитационного моделирования процессов СТЭМП).

Автором совместно с компанией «Восточная техника», дилером «Каттерпилер», создан учебно-исследовательский центр технического обслуживания транспорта, обеспечивающий переподготовку сервисных инженеров для Сибири и Казахстана. Результаты диссертационного исследования включены в учебные программы дисциплин, читаемых студентам инженерных специальностей, а также слушателям программ дополнительного образования.

Разработана, изготовлена и испытана в производственных условиях система дистанционной диагностики технического состояния ТТМ, основой элементной базы которой является модернизированная система контроля топлива СКРТ-45. Создана оригинальная система дистанционной диагностики, терминал которой предназначен для подключения 30 датчиков.

Публикации научных результатов исследования. По теме диссертации автором опубликовано 32 работы, в том числе две монографии, 15 статей в ведущих научных рецензируемых журналах и изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки России, получено одно свидетельство государственной регистрации объекта интеллектуальной собственности (программа для ЭВМ) и зарегистрирован один патент на полезную модель. Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 19 п.л. (в т.ч. авт. 10 п.л.).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения, содержит 274 страницы основного текста, 38 таблиц, 97 рисунков, 10 страниц приложений, содержащих акты внедрения результатов диссертационной работы. Список литературы включает 177 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задача исследования, рассмотрены основные положения, выносимые на защиту, приведены научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе «Система организации ремонта и содержания инфраструктуры железных дорог» дан анализ производства путевых работ технологическими путевыми комплексами, реформирования организационных структур управления инфраструктурным комплексом, содержания и ремонта железнодорожного пути и технического состояния путевых машин, определена проблемная область исследований.

Реформирование железнодорожного транспорта, представлявшего структуры Министерства путей сообщения и объединявшего железные дороги по территориальному принципу, привело к созданию вертикально интегрированной холдинговой структуры ОАО «Российские железные дороги». В процессе реализации реформы разработаны функциональные программы. В путевом комплексе на базе предприятий по ремонту и эксплуатации путевых машин созданы региональные дирекции по ремонту и эксплуатации путевых машин (ДРП) с центральным аппаратом в форме Центральной дирекции (ЦДРП). Основными задачами дирекций являются выполнение капитального



Рисунок 1. Классификация ТТМК

Системное представление производственных процессов инфраструктуры железнодорожного транспорта основано на классических принципах системного подхода, на построении целостной картины интегрированных комплексов путевых, строительных, дорожных и транспортных машин, организации системы их технического сервиса как важнейших элементов путевого комплекса.

Организация путевых работ в инфраструктурном комплексе, как правило, проводится в летний сезон и осуществляется комплексами по глубокой очистке щебня, кюветоочистительными комплексами, комплексами выправочно-подбивочно-рихтовочных путевых машин. Классификация ТТМК приведена на рисунке 1. В процессе производства работ при отсутствии системы сквозного планирования и недостаточной организации взаимодействия служб не достигаются проектные показатели производительности техники, что приводит к срыву плановых заданий, нарушению перевозочного процесса и снижению безопасности движения. Основными причинами такого положения является недостаточное предоставление «окон», их отмена вследствие поездной обстановки, несогласование «окна», простои по причине отдыха бригад, ожидания фронта работ, ожидания локомотива, высокой температуры воздуха,

ремонта и текущего содержания пути путевыми машинами и машинными комплексами, капитальный и средний ремонт путевых машин, изготовление и ремонт средств малой механизации.

Совокупность объектов инфраструктурного комплекса представляет собой большую систему, являющуюся составной частью сверхсложной системы железнодорожного транспорта. В системных исследованиях больших систем ключевое положение занимают системный подход, различные варианты теории систем и методология системного анализа.

В системных исследованиях системный подход является формой систематизации методов и принципов системного исследования.

экипировки, отсутствия представителей ПЧ (ЭЧ, ШЧ), отказов технических средств и отдельных узлов машин и др. (рисунок 2, 3, 4).

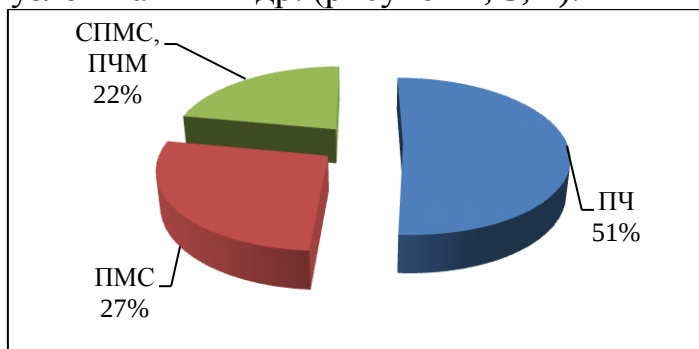


Рисунок 2. Соотношение количества случаев брака и отказов технических средств между службами

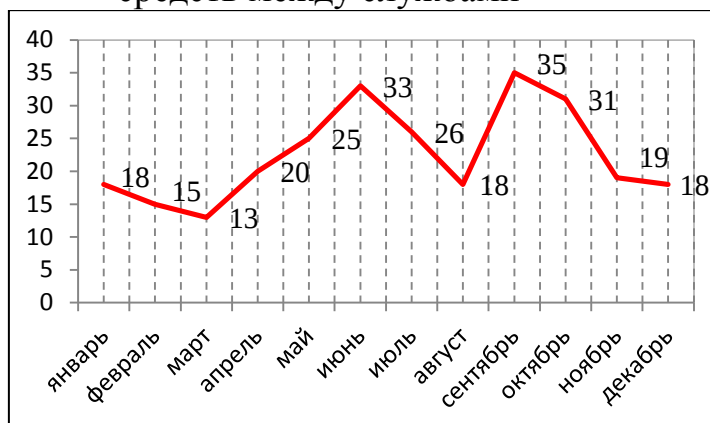


Рисунок 3. Количество брака в работе и отказов технических средств по причине отказов путевых машин

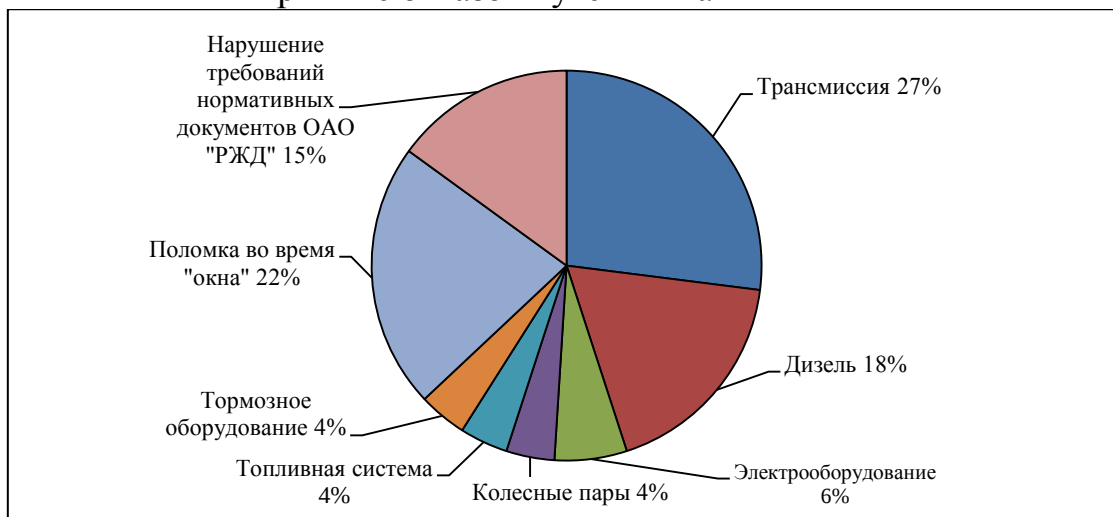


Рисунок 4. Основные причины, приведшие к браку в работе и отказам технических средств путевых машин

Отказы во время «окон» составляют 22 % от общего количества. Это приводит к значительным потерям времени, нарушению перевозочного процесса и экономическим потерям во всех дирекциях. Причиной событий и отказов является некачественное проведение ремонта (упрощение процесса), выполнение ежесменного технического обслуживания бригадами не в полном объеме, нарушение должностных обязанностей машинистами и помощниками машинистов при эксплуатации техники, низкий уровень технических знаний.

Целевые показатели развития путевого хозяйства на 2015–2030 гг. по увеличению межремонтного срока между капитальными ремонтами пути, сокращению участков с ограничениями скорости по состоянию пути и сооружений и ряд других могут быть достигнуты при создании инновационной системы технического сервиса машинных комплексов (СТСМК).

Во второй главе «Система организации эксплуатации путевых машин на объектах железной дороги» рассматриваются принципы формирования опорных баз инфраструктурного комплекса, организация путевых работ ТТМК, организационные структуры управления предприятиями с региональными опорными базами, дан анализ технической эксплуатации путевых, строительных машин, рассмотрены эксплуатационные отказы транспортно-технологических машин и содержательная сущность систем технического обслуживания.

Реформирование инфраструктурного комплекса, безусловно, повысило эффективность эксплуатации путевых машин. Вместе с тем остается ряд нерешенных проблем, требующих научно-методического обоснования.

1. Удаленность региональных участков от структурных подразделений, что приводит к недостаточному контролю за организацией работы участка, увеличению времени принятия решений, сроков проведения ремонтов и доставки запасных частей и материалов. *Актуальной становится проблема обоснования размещения региональных опорных баз и распределения региональных участков между структурными подразделениями.*

2. Низкая управляемость участков. *Актуальной становится проблема формирования структуры управления региональными участками и ее комплектование квалифицированными кадрами.*

3. Отсутствие условий для качественного проведения подготовки техники и технического обслуживания (отсутствие собственной ремонтной базы и оборудования, узких специалистов: станочников, слесарей, сварщиков). *Актуальной становится проблема применения научно обоснованных методов аутсорсинга.*

4. Низкий уровень мотивации бригад моторно-рельсового транспорта и снегоуборочных машин. *Актуальной становится проблема мотивации, учитывающая время, фактически отработанное в распоряжении заказчика, и качество выполненных работ.*

5. Большой процент износа отдельных типов машин транспортно-технологического комплекса. *Актуальной становится проблема создания систем технического сервиса путевых машин.*

6. Отсутствие специализированных информационных ресурсов. *Актуальной становится проблема обобщения и систематизации информации по эксплуатации и ремонту машин дирекции, а также создание моделей, алгоритмов и программных средств оценки качества СТСМК.*

По существующей в настоящее время классификации 80–90 % эксплуатационных отказов обусловлены изнашиванием. Их исследованию посвящены фундаментальные работы И.В. Крагельского, В.И. Горлыкина, Д.Н. Гаркунова, А.В. Чичинадзе, Д. Мура, А.К. Дьячкова, М.М. Хрущева,

М.А. Бабичева и многих других ученых и специалистов. Для целого ряда типовых деталей машин определены интенсивности изнашивания, позволяющие оценить потерю их работоспособности как функцию наработки на отказ. Периодичность ТВ, сроки службы агрегатов, узлов и деталей машин, нормы их расхода, технические условия и другие материалы, касающиеся ТО и Р, основаны, главным образом, на результатах износных испытаний новых или отремонтированных машин.



Рисунок 5. Диаграмма отказов путевых машин

Вместе с тем проведенный нами анализ отказов показывает, что существенная их часть вызывается и другими причинами, к которым могут быть отнесены организационные, внешние и человеческий фактор. На рисунке 5 приведена диаграмма отказов путевых машин, используемых для строительства, ремонта и текущего содержания пути на Западно-Сибирской железной дороге (ЗСЖД). Отказы агрегатов, систем и узлов машин в различных по назначению ТТМК имеют случайный характер. Так, например, из сопоставления отказов путевых машин и большегрузных карьерных самосвалов САТ-777 установлено, что отказы ДВС составляют 15,8 % и 39 % соответственно, электрооборудования 24,2 % и 11,0 %, трансмиссии 15,8 % и 11,0 %. Так как эта ситуация существенно затрудняет прогнозирование вероятности их возникновения, то при разработке стратегии ТСМК может быть принято допущение о равной вероятности отказов основных элементов машин.

В общем случае основные факторы, приводящие к отказам машин, можно представить в виде некоторой системы, включающей в себя не только технические, но и организационные причины отказов, классификация которых приведена на рисунке 6.

Для ТТМК вероятность отказов возрастает не только из-за увеличения общего количества машин, в том числе и разнотипных, но и по ряду причин, приведенных в классификации. Поэтому возникает необходимость интеграции технических, технологических и организационных причин отказов в единую многофакторную систему, что позволит провести сравнительную ранговую

оценку факторов по степени их влияния на состояние ТТМК. Выбор факторов может быть проведен на основе анализа существующих СТОР.

Разработке теоретических основ технического сервиса, организации ТО и Р посвящен достаточно большой ряд работ отечественных и зарубежных авторов. Наиболее близкие по рассматриваемой тематике исследования в разное время провели: В.А. Зорин, В.Н. Иванов, А.В. Каракулев, Б.Г. Ким, Е.С. Локшин, В.М. Михлин, С.П. Озорнин, П.В. Привалов, С.В. Репин, Р.Ф. Салихов, О.В. Ядрошников и многие другие.

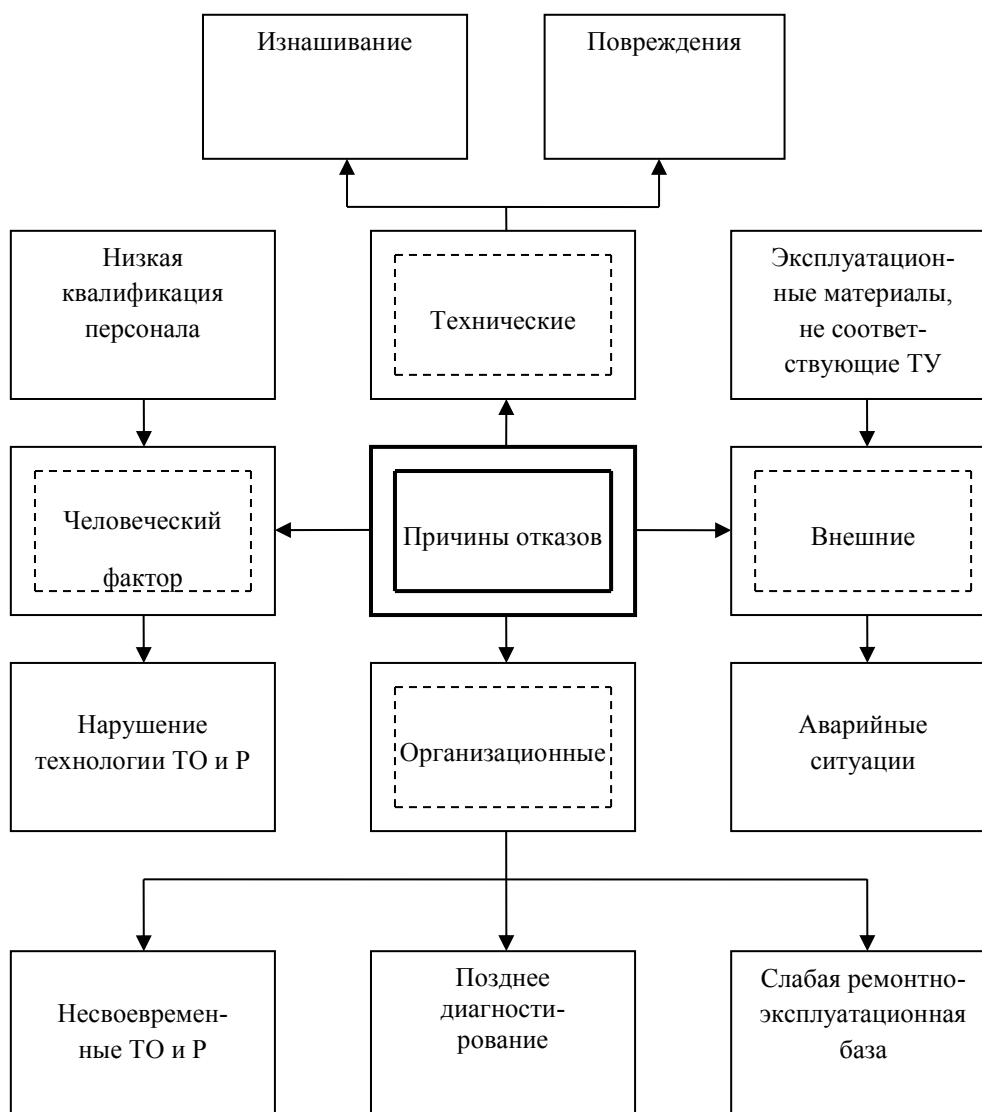


Рисунок 6. Классификация технических и организационно-технических причин отказов

В настоящее время существуют две СТОР, которые можно отнести к базовым: планово-предупредительная (ППР) и контрольно-профилактическая (КПС). ППР характеризуется простотой применения, четкостью разработанных нормативов и возможностью планирования ТВ, выполняемых с фиксированной периодичностью. К недостаткам системы можно отнести некоторую неопределенность в назначении периодичности ТВ, что приводит к недоиспользованию ресурсов элементов машин или увеличению числа отказов.

КПС предусматривает назначение ТО и Р на основе периодического диагностирования и является системой обслуживания элементов машин по фактическому состоянию, позволяющей увеличить долю полной реализации срока их службы. Но априорные оценки периодичности диагностирования приводят к тем же самым недостаткам, которые свойственны ППР.

Более современной представляется объектно-ориентированная система (ООС), базирующаяся на проведении диагностических операций как самостоятельных ТВ, осуществляемых с равномерной или неравномерной периодичностью. Но методика ее определения сложна в применении и реализуется на основе статистических данных, приводимых в сложных учетных формулах или получаемых с использованием экспертных оценок для определения диапазона наработки конкретной машины при известном параметре потока отказов.

Группа систем, являющихся альтернативными по отношению к ППР, КПС, ООС, не предусматривает проведения как плановых воздействий, так и обслуживания по фактическому состоянию. К ним, например, относятся: событийная (сезонные ТВ), заявочная (ТО и Р по потребности), реакционная («не вмешиваться, пока не сломается»). Особое место занимает регламентная система (точное соблюдение периодичности и объема ТВ) обслуживания МП, в том числе и машин, находящихся на хранении.

Анализ особенностей рассмотренных СТОР приводит к очевидному выводу о том, что все они являются вариациями ППР, КПС и совершенствуются в направлении оптимизации периодичности ТВ. Но ТТМК следует рассматривать не только как сложную техническую систему, состояние которой определяется множеством самих парков, номенклатурой и численностью ТТМ, их конструктивными особенностями и возрастом. На эффективность ТС существенное влияние оказывают факторы, обусловленные особенностями производственной эксплуатации парков.

По существу, необходимо формирование системы ТС, которая должна быть ориентирована на организационную, техническую и технологическую структуру эксплуатационного предприятия. Такую систему можно обозначить как структурно-ориентированную, или систему технического сервиса машинных комплексов.

Третья глава «Моделирование организации производства путевых работ, систем качества и надежности технического сервиса путевых машин» включает математическую модель определения рациональной периодичности ремонтно-обслуживающих воздействий объектно-ориентированной системы, численный эксперимент по определению качественных параметров ООС, модель структурно-ориентированной системы технического обслуживания и ремонта, сравнительную комплексную оценку качества систем ТО и Р.

ООС поддержания работоспособного состояния машин как комплекс определенных технических воздействий базируется на знании закономерностей изменения технического состояния машин в процессе эксплуатации. Совокупность технических состояний представлена в виде марковских цепей с

непрерывным временем перехода из одного состояния в другое. В качестве входных параметров модели приняты наработка на отказ, время восстановления машин, интенсивность перехода из одного состояния в другое; выходных – периодичность проведения профилактических ремонтных работ и диагностических проверок, коэффициенты простоя и готовности машин. В работе приведены результаты численного эксперимента по данной модели на основе статистических данных наработки на отказ элементов машин, времени ожидания ремонта. Рассчитана матрица интенсивности переходов состояний ТТМК, определена вероятность безотказной работы машин (рисунок 7) и соотношение затрат на ТО и Р с вероятностью безотказной работы (рисунок 8). Установлены также корреляционные зависимости коэффициента межремонтных циклов от наработки, изменения периодичности ТО-2 от общей наработки машины и от срока службы.

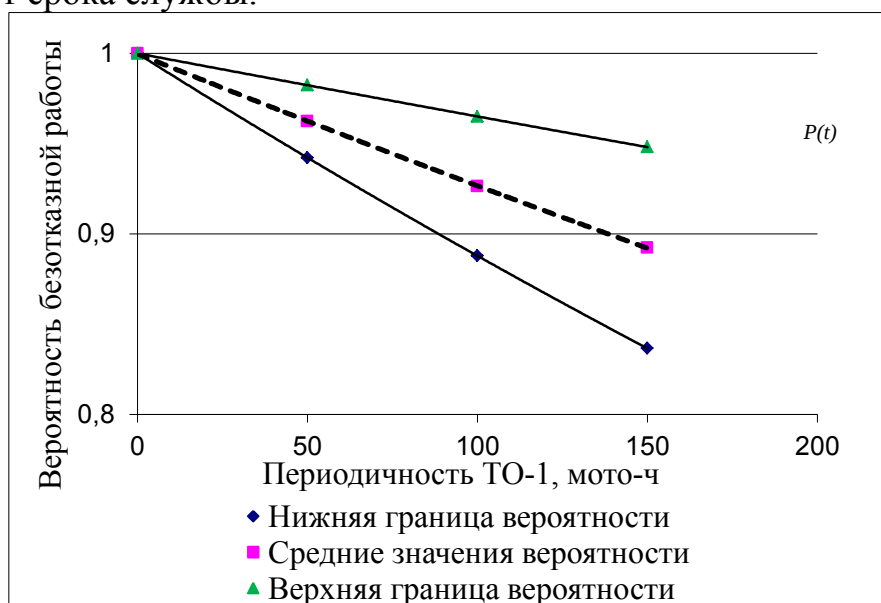


Рисунок 7. Вероятность безотказной работы технологических машин

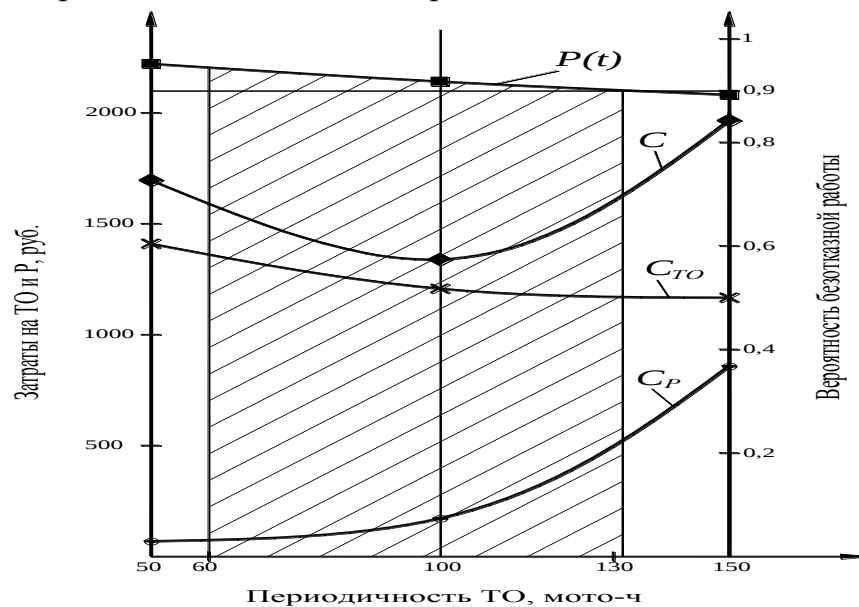


Рисунок 8. Затраты и вероятность безотказной работы как функция периодичности ТО и Р

Установлено, что предлагаемая структура и количественные параметры объектно-ориентированной системы существенно сокращают количество ТВ, следовательно, сокращают время простоя машин в ТВ в первом цикле на 30–35 %. При этом увеличится коэффициент готовности комплектов машин. Во втором цикле ТО снижение составляет вместо 432 ч всего (340–370 ч), что составляет 15–20 %. Последующие межремонтные циклы при наработке машин более 9 тыс. ч не приводят к сокращению времени простоя машин и практически соответствуют показателям системы ППР.

Модель структурно-ориентированной системы технического обслуживания и ремонта базируется на структурно-логическом анализе фактического состояния машины и предельно допустимых значений диагностических параметров. Эта модель позволяет рассчитать показатели надежности машины на основе показателей надежности ее элементов. Автором выполнен анализ методов оценки качества систем ТО и Р, определения весовых коэффициентов показателей систем по их значимости, дана оценка качества как меры сходства систем ТО и Р по показателям их деятельности.

Таблица 1 – Сравнительные показатели систем ППР и СТСМК

Характеристики	Система ТО и Р	
	ППР	СТСМК
1. Основная задача применения системы ТО и Р	Планирование технических воздействий и их выполнение	Прогнозирование технического состояния и предупреждение отказов
2. Основной критерий применения системы	Наработка или объем выполненных работ	Безотказное техническое состояние машин
3. Единица измерения основного критерия	Машино-час производительной работы	Машино-час готовности к работе
4. Ожидаемый результат применения системы	Поддержание работоспособности машин	Обеспечение безотказной работы техники
5. Показатель оценки работоспособности	Техническое состояние машин	Показатель технической готовности машин
6. Определяющий фактор результативности	Фактическая наработка	Мотивация персонала

Суть системы СТСМК заключается в обеспечении условий постоянной готовности машин к выполнению производственных заданий и сокращению времени простоев машин по причинам выполнения технических воздействий предупредительного или ремонтно-восстановительного характера. Это может быть выполнено путем прогнозирования технического состояния машин при постоянном его мониторинге и техническом диагностировании и в результате путем предупреждения внезапных отказов техники (таблица 1).

При оценке качества функционирования СТОР необходимо выбирать совокупность показателей, соответствующих задаче оптимизации ТВ (таблица 2).

Таблица 2. Показатели, характеризующие работу СТОР

№ п/п	Наименование показателей
1	Процент простаиваемых машин
2	Коэффициент технического использования парка
3	Наличие каналов технического сервиса
4	Количество машин в очереди
5	Средняя продолжительность однократного простоя машин в очереди
6	Коэффициент загрузки канала обслуживания
7	Количество мастеров-наладчиков
8	Продолжительность простоя машин на обслуживании

С целью всесторонней оценки качества СТОР предлагаются модели, реализующие комплексную сравнительную оценку и определение качества с использованием теории мер сходства. В основе расчета оценки качества лежит сравнение систем по каждому показателю с условной эталонной системой, имеющей наилучшие значения по всем показателям. Для этого все сравнительные показатели систем стандартизируются в отношении соответствующих показателей эталонной системы:

$$X_{ij} = \frac{a_{ij}}{a_i^{\ominus}}, \quad (1)$$

где a_{ij} – значение i -го показателя j -й системы; $a_i^{\ominus}$ – значение i -го показателя эталонной системы; X_{ij} – стандартизованные значения показателей j -й системы.

Оценки качества j -й системы:

$$Q_j = \sqrt{(k_1 x_{1j}^2 + k_1 x_{2j}^2 + \dots + k_m x_{mj}^2)}; \quad (2)$$

$$Q_j = \sqrt{k_1 (1 - x_{1j})^2 + k_1 (1 - x_{2j})^2 + \dots + k_m (1 - x_{mj})^2}, \quad (3)$$

где $k_1, k_2, \dots, k_m$ – весовые коэффициенты показателей.

Формула (2) характеризует оценку качества системы как максимальное отклонение от начала координат, т.е. наивысшую оценку имеет система, у которой суммарный результат по всем показателям выше, чем у остальных. Вторая же формула учитывает значимость отдельных показателей при расчете оценки качества по отношению к системе-эталону. Вместе с тем эти формулы, определяющие иерархию систем, не всегда дают верный результат при определении весовых коэффициентов экспертным методом. Поэтому возникает задача определения веса показателей, которая может быть решена экспертными или статистическим путем.

Задачей экспертов по оценке значимости M показателей качества является определение их влияния на систему, или определение весовых коэффициентов показателей. Для исключения субъективизма экспертов необходимо установить уровень компетентности каждого из них, рассчитанный по следующему алгоритму.

Усредненная сумма отклонения баллов s -го эксперта по всем показателям как уровень его компетентности

$$u_s = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (a_{is} - a_i^{\text{cp}}), \quad (4)$$

где a_{is} – балл i -го показателя; a_i^{cp} – среднее значение баллов i -го показателя.

Коэффициент компетентности эксперта

$$k_s^{\ominus} = \frac{u_{\min}}{u_s}, \quad (5)$$

где $u_{\min}$ – минимальное значение u_s по всем экспертам.

Каждый балл i -го показателя, выставленный s -м экспертом, корректируется с учетом его взвешенного отклонения от a_i :

$$a_{is}^k = a_i^{\text{cp}} + (a_{is} - a_i^{\text{cp}})k_s^{\ominus}, \quad (6)$$

где a_i – вес i -го показателя может быть найден как среднее его значение по всем экспертам.

При определении весовых коэффициентов путем решения задачи корреляционного типа необходимо ввести еще один показатель – оценку качества системы. В качестве меры статистической зависимости предлагается использовать взаимную информацию между двумя показателями $I(i'i'')$. Она проявляется в том, что при известном значении i' с большей точностью можно предсказать значение i'' .

Коэффициенты направленной зависимости, позволяющие сравнить показатели с различным числом значений,

$$P(i' \rightarrow i'') = \frac{I(i'i'')}{H(i'')} ; P(i' \leftarrow i'') = \frac{I(i'i'')}{H(i')}, \quad (7)$$

где $H(i')$, $H(i'')$ – энтропия показателей.

Если считать меру функциональной зависимости оценки качества системы от какого-нибудь показателя мерой его влияния на оценку качества, то параметры, рассчитанные по (6), можно считать весовыми коэффициентами.

Введем обозначения: $p(x_j)$, $p(x_{j''})$ – вероятность того, что соответствующие показатели примут значения x_j или $x_{j''}$; $p(x_j x_{j''})$ – вероятность того, что i' -й показатель примет значение x_j , а i'' -й $x_{j''}$. Тогда в соответствии с (6):

$$P(i' \leftarrow i'') = - \frac{\sum_{j'=1}^{N'} \sum_{j''=1}^{N''} p(x_{j'} x_{j''}) \log_2 \frac{p(x_{j'} x_{j''})}{p(x_{j'}) p(x_{j''})}}{\sum_{j''=1}^{N''} p(x_{j''}) \log_2 p(x_{j''})}. \quad (8)$$

Итерационная процедура последовательных приближений весовых коэффициентов предусматривает необходимость иметь в качестве исходных данных оценки, рассчитанные по (2) или (3), где $k_i = P(i' \leftarrow i)$. Затем по алгоритму экспертных оценок определяется матрица значений направленных

коэффициентов, выступающих в качестве весовых.

Так как нас интересует зависимость оценки качества от других показателей, то содержимое соответствующего ей столбца с номером i :

$$[k_1^l(1 \rightarrow i), k_2^l(2 \rightarrow i), \dots, k_N^l(N \rightarrow i)], \quad (9)$$

где k_i^l – весовой коэффициент i -го показателя на l -м шаге процедуры.

Далее рассчитывается суммарное относительное отклонение Δ_l оценок на текущем Q_j^l и предыдущем Q_j^{l-1} шагах. Если Δ_l превосходит заданную величину, то расчет повторяется. Весовым коэффициентам присваиваются значения направленных коэффициентов, полученные на последней итерации.

Оценка качества как мер сходства СТОР базируется на гипотезе о том, что сходство систем по оценкам качества следует за их сходством по показателям. Каждой системе соответствует свой вектор значений показателей $A_j = (a_{ji})$. Каждый показатель имеет определенное число значений M_i , из которых фиксируются его худшее a_i^X и лучшее $a_i^П$ значения. Предполагается, что условные системы j^X и $j^П$, которым отвечают вектора значений показателей $A_j^X = (a_j^X)$ и $A_j^П = (a_j^П)$, также являются наихудшими и наилучшими. Для всех систем рассчитывают оценки k_j^0 . В расчет вводится нормированное порядковое значение вместо значения a_{ij}

$$S_{ij} = \frac{l_{ij}}{l_i - 1}. \quad (10)$$

Здесь l_{ij} – число значений i -го показателя j -й системы, которые предшествуют значению a_{ij} или следуют за a_{ij} .

Мерой сходства между системами j_r и j_s будем считать:

$$\Lambda(j_r, j_s) = 1 - e^{-k_i^П(S_{ij_r} + S_{ij_s})} \cdot (S_{ij_r} - S_{ij_s}), \quad 0 \leq k_i^П \leq 3. \quad (11)$$

Показатели качества условимся различать по рангам, аналогичным весовым коэффициентам: первый (очень важные), второй (важные), третий (менее важные). Мера сходства между системами j_r и j_s по показателям p -го ранга

$$\Lambda_p^\Gamma(j_r, j_s) = \sum_{i=1}^{m_p} k_i^\Gamma \cdot \Lambda_i(j_r, j_s), \quad \sum_{i=1}^{m_p} k_i^\Gamma = 1, \quad k_i^\Gamma > 0, \quad (12)$$

где m_p – число показателей p -го ранга.

Элементарная мера сходства между системами j_r и j_s по показателям всех рангов

$$\Lambda^C(j_r, j_s) = k_1^C \cdot \Lambda_1^\Gamma(j_r, j_s) + k_2^C [\Lambda_1^\Gamma(j_r, j_s) \cdot \Lambda_2^\Gamma(j_r, j_s)]^{1/2} + k_3^C [\Lambda_1^\Gamma(j_r, j_s) \cdot \Lambda_3^\Gamma(j_r, j_s)]^{1/3},$$

$$\sum_{j=1}^{m_p} k_p^C = 1, \quad k_p^C > 0. \quad (13)$$

Простая мера сходства между системами сходства j_r и j_s по показателям всех рангов:

$$\Lambda(j_r, j_s) = k^0 \cdot \Lambda^C(j_r, j_s) + (1 - k^0) \cdot [1 - 0,5 \cdot (|\Lambda^C(j_r, j^X) - \Lambda^C(j_s, j^X)| + |\Lambda^C(j_r, j^J) - \Lambda^C(j_s, j^X)|)],$$

$$0 < k^0 < 1. \quad (14)$$

Для выполнения расчетов по этой формуле необходимо знать значения n параметров k_i^{Π} в формуле (11), n параметров k_i^{Γ} в формуле (12), трех параметров k_p^C в формуле (13) и одного коэффициента k^0 в выражении (14). Сложность определения значений этих параметров, число которых составляет $2n + 4$, является основным препятствием к использованию формулы (14). В этом случае можно принять подход, основанный на введении j -й системы показателей ценности, значимость которых определяется внешним наблюдателем:

$$\Phi(j) = \frac{k \cdot [\Lambda(j^J, j) - \Lambda(j^X, j^J)] + (1 - k) \cdot [1 - \Lambda(j^X, j)]}{1 - \Lambda(j^X, j^J)}, \quad 0 < k \leq 1. \quad (15)$$

Если условие $\Lambda(j^X, j) \leq \Lambda(j^X, j^J)$ не выполняется, то этот показатель равен 0. Выбрать параметры $k_i^{\Pi}, k_i^{\Gamma}, k_p^C, k^0$ и k следует так, чтобы выполнялось условие

$$\sum_{i_r=1}^m \sum_{j_s=1}^m \left| \frac{R_{j_r}}{R_{j_s}} - \frac{\Phi(j_r)}{\Phi(j_s)} \right| \rightarrow \min. \quad (16)$$

Оценку качества j -й системы с учетом (14) можно представить в следующем виде:

$$R_j^0 = R^J \cdot \Lambda(j^J, j) + R^X \cdot \Lambda(j^X, j).$$

Минимизация функционала (16) должна привести к наибольшему соответствию рассчитанных оценок систем их показателям ценности, являющимися объективными оценками привлекательности СТОР. Но предварительные расчеты на ЭВМ для некоторых значений параметров показали, что функция (16) является негладкой и имеет большое число экстремумов. В этой ситуации для нахождения достаточно хорошего решения наиболее эффективным является полный перебор задаваемых значений параметров.

Структура компьютерного моделирования оценочных систем иллюстрируется принципиальной блок-схемой, показанной на рисунке 9 и предназначенной для отображения технологии обработки информации. Ввод исходных данных разбит на отдельные блоки. Это указывает на требование к программному обеспечению, заключающееся в том, что ввод различных видов данных должен осуществляться независимо. И в то же время корректировка данных некоторого уровня должна автоматически повлечь за собой изменения в данных более низкого уровня.

В алгоритмической части блок-схемы показано, что расчет по методу комплексной сравнительной оценки должен осуществляться после расчета

весовых коэффициентов показателей по одному из вариантов. Стрелка между блоками *Метод комплексной сравнительной оценки* и *Метод теории мер сходств* говорит о том, что вторая из этих моделей использует данные первой.

Первоначально ввод данных осуществляется с учетом их иерархии, которая выстроена в соответствии с принципиальной блок-схемой: группы систем → системы → показатели → векторы значений. Расчеты ведутся с учетом их вариантности. Весовые коэффициенты показателей могут быть рассчитаны по двум алгоритмам:

- на основании экспертных оценок значимости показателей;
- путем решения задачи корреляционного типа.

В свою очередь, при расчете весовых коэффициентов на основе экспертных оценок уровень компетентности экспертов определяется по двум вариантам в соответствии с алгоритмом.

Сравнение результатов расчетов рейтинговых оценок, осуществляемых по разным сценариям, позволяет сделать выбор качеств, наиболее адекватных реальной ситуации. Результаты расчетов в сопоставлении с условной неэффективной СТОР с наихудшими показателями и эталонной приведены в таблице 3. Кроме того, оценки качества, полученные для СТСМК, подтверждают правильность ранее принятой гипотезы о возможности использования в качестве показателя эффективности коэффициента надежности ТЭ.

Исходные данные, используемые во всех расчетах, являются прогнозируемыми, поэтому нет смысла проводить сравнительный анализ рейтингов СТОР. Общая же тенденция в распределении оценок сохраняется, что позволяет говорить о корректности разработанных моделей.

Таблица 3. Рейтинг систем ТО и Р по качеству

№ п/п	Наименование системы	Оценка качества	
		Сравнительная	Как мера сходства
1	Эталонная	2,000	2,000
2	Структурно-ориентированная (СТЭМП)	1,720	1,810
3	Объектно-ориентированная	1,543	1,703
4	Планово-предупредительная (ППР)	1,204	1,212
5	Регламентная	1,170	1,027
6	Событийная	1,116	1,255
7	Заявочная	0,689	0,877
8	Неэффективная	0,478	0,478

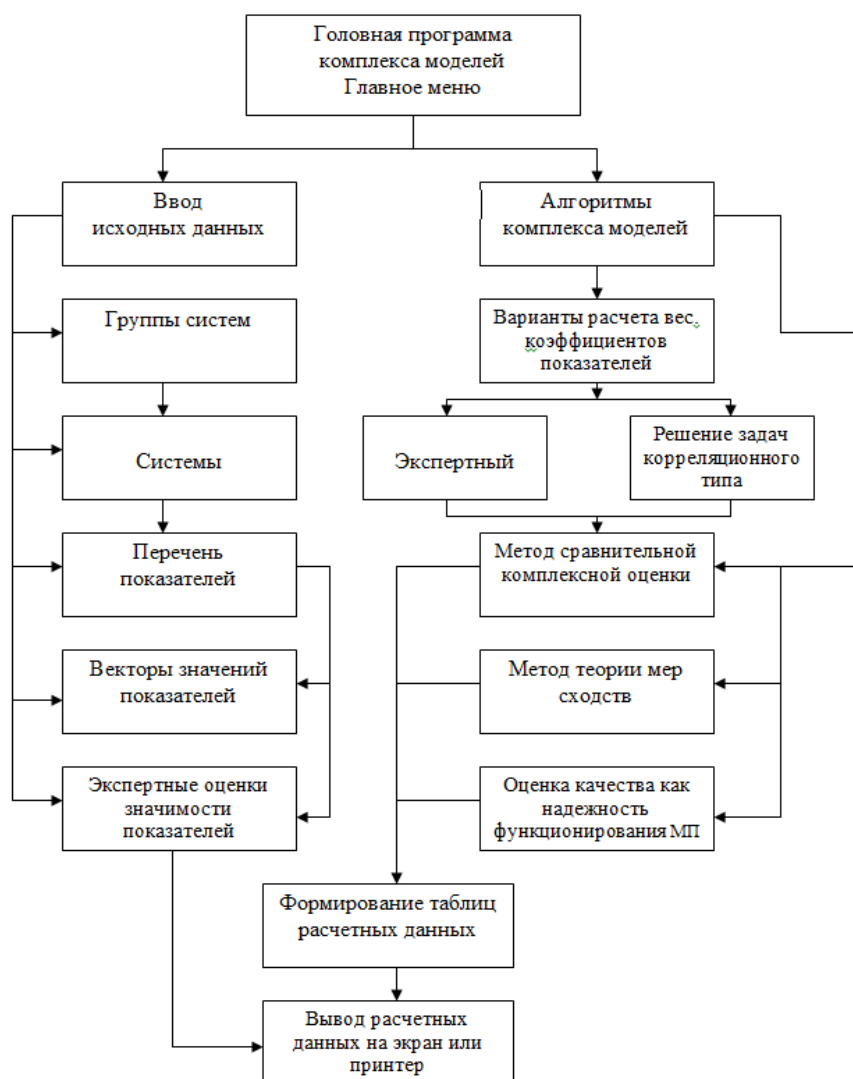


Рисунок 9. Принципиальная блок-схема комплекса моделей оценочных систем качества ТО и Р

Глава четвертая «Формирование операционной структуры организации технического сервиса путевых машин» посвящена формированию операционно-процессной организации производства, синтезу организационно-технической и экономической структур ТС, исследованию мониторинга технического состояния ТТМК, тотального качества операционного менеджмента, производственного аутсорсинга и компетентностного подхода к подготовке персонала.

Организационные функции ЭП представляют собой операции, т.е. ряд действий практического характера, управление которыми является операционным менеджментом, деятельностью, связанной с преобразованием технического состояния машин, агрегатов, узлов, деталей, а также материалов, технологий, информации, персонала. ТС можно рассматривать как комплекс организационно-технологических сервисных операций по отношению к производственной эксплуатации. Операционная структура производственно-технической эксплуатации нам представляется в виде пирамиды, показанной на рисунке 10.

В вершинах при основании пирамиды (узлах) располагаются независимые

укрупненные процессы, вид и количество которых определяется формируемой стратегией управления эксплуатацией машинного парка, например, техническая диагностика (ТД) как самостоятельная операция; материально-техническое обеспечение; ТО и Р; планирование и организация ТЭ.

Лучи в узлах пирамиды представляют собой вспомогательные (поддерживающие) операции, совершенствование которых, включая и разработку новых, составляет сущность операционного менеджмента.

Производственная эксплуатация машинного парка

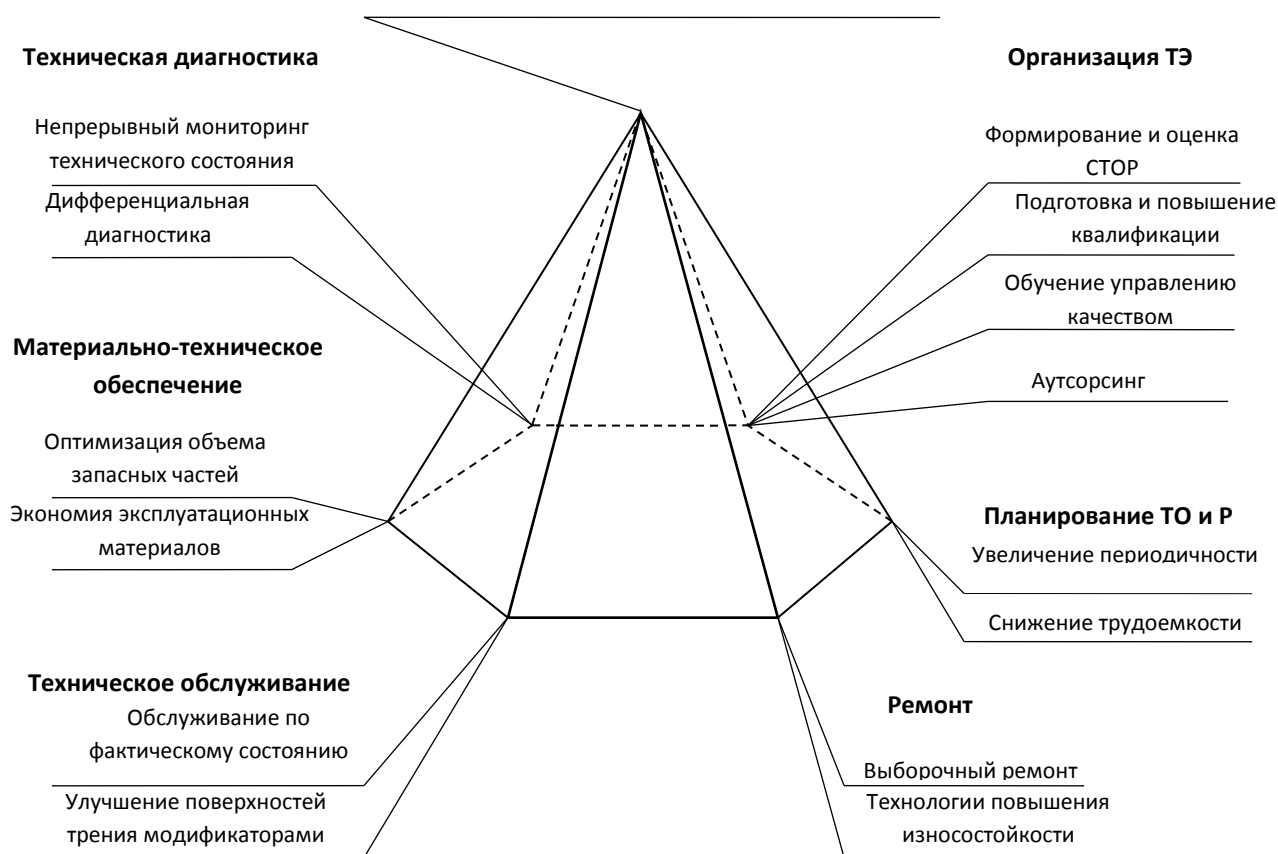


Рисунок 10. Операционная структура производственно-технической эксплуатации машинного парка

Комбинация укрупненных (основных) и вспомогательных операций позволяет рассматривать операционную структуру как резервированную организационно-технологическую систему. Резервные сервисные операции рассматриваются нами как принципиально новые или обладающие новизной. Это вызывает необходимость более подробного анализа наиболее значимых операций, что позволит сформировать рейтинговые оценки и установить влияние каждой из них на уровень надежности СТЭМП.

Непрерывный мониторинг технического состояния ТТМК. Переход от ППР к обслуживанию по фактическому состоянию позволяет находить периодичность проведения технических воздействий различными способами. Но в любом случае необходимо осуществлять диагностирование основных узлов и агрегатов, глубина которого определяется решаемыми локальными задачами. Вместе с тем установленные периодичности проведения диагностических операций носят субъективный характер, поскольку

фактическое состояние машины перед проведением диагностирования неопределенно. Поэтому представляется целесообразным предварительно проводить минимальный объем измерений, свидетельствующих о необходимости выполнения Д-1, Д-2, ТО или Р. По существу, речь идет об интегральном диагностировании машины, представляющем собой периодический мониторинг технического состояния.

Задачей интегрального диагностирования является измерение текущих диагностических параметров и сравнение их с предельно допустимыми. До тех пор пока значение хотя бы одного параметра не превосходит предельно допустимого значения, все машины парка работают в штатном режиме. При достижении любым диагностическим параметром предельной величины принимается решение о необходимости ТО и Р или Д-2 машины, после чего ее производственная эксплуатация может быть продолжена.

Такой подход приводит к существенным изменениям СТОР, так как исчезает само понятие их периодичности. По существу, точечные ТО и Р отдельных элементов машины ведутся на протяжении одного или нескольких ремонтных циклов, т.е. до тех пор, пока не возникает необходимость в капитальном ремонте. Кроме того, его трудоемкость существенно снижается, поскольку обслуженные ранее элементы фактически уже капитально отремонтированы.

Особую значимость интегральное диагностирование приобретает для анализа технического состояния машин, работающих на значительном удалении от ЭП. В этом случае прогнозирование необходимости проведения ТО и Р или Д-2 может быть выполнено при анализе результатов дистанционной диагностики, которая, как новая информационная технология, далее будет рассмотрена более подробно.

Тотальное качество. Принято считать, что повышение качества влечет за собой увеличение себестоимости. Однако неспособность удовлетворять требуемым показателям качества обходится еще дороже за счет затрат, связанных с непредвиденными отказами. Цель управления тотальным качеством (УТК) заключается в достижении превосходства во всех аспектах технической эксплуатации. Это касается не только достижения высоких технических показателей ТО и Р, но и всех остальных элементов взаимодействия. Например, поздняя доставка запасных частей или горюче-смазочных материалов (ГСМ), неверное количество, ожидание обслуживания, неправильное заполнение документов, даже отсутствие фирменной одежды также считается снижением качества. Но поскольку достичь идеального качества практически невозможно, то необходимо стремиться к непрерывному его улучшению.

Стремление к улучшению качества затрагивает не только тех, кто непосредственно связан с производством, но и всех остальных работников – отдела маркетинга, планового отдела, бухгалтерии и др. Остальные функции, в которых нет прямого контакта с технической или производственной эксплуатацией, все равно рассматриваются как ее составные элементы и должны быть направлены на улучшение качества работы, помогая остальным

подразделениям предприятия. Поэтому УТК можно рассматривать как радикальную новизну для предприятия, поскольку оно затрагивает внутренние функции, ранее никак с качеством не связанные.

Нами предлагается учитывать причины потери качества УТК, показанные на рисунке 11. Возникновение каждой из них представляет риск с вероятностью $Q_{TKi}(t)$. Этот показатель характеризует так называемую «ненадежность» системы. Необходимость такого подхода вызывается тем обстоятельством, что оценка степени влияния какого-либо элемента на надежность системы производственной эксплуатации представляется проблематичной, тогда как предвидеть потерю качества с какой-то долей вероятности возможно. Полная потеря качества системой УТК произойдет при $Q_{TKрез}(t) = 1$. В этом случае качество технической эксплуатации, уже реализованное предприятием, останется на прежнем уровне, без улучшения. Поэтому тотальное качество следует рассматривать как дополнительное качество с предельно полезным показателем $(t) \rightarrow 0$.

Производственный аутсорсинг. Общая тенденция развития рынка российского аутсорсинга заключается в том, что быстрыми темпами растет количество малых предприятий, активно пользующихся аутсорсингом. ТС представляет собой специфический вид производственной деятельности, осуществляемой ЭП, отличающимися между собой как масштабами деятельности, так и формами собственности.

Использование аутсорсинга, позволяющего добиться повышения эффективности деятельности ЭП без крупных дополнительных инвестиций в новые дорогостоящие технологии ремонта и восстановления элементов машин, является одним из направлений повышения их конкурентоспособности на рынке услуг.

В настоящее время наибольшее распространение находит аутсорсинг информационных технологий и бизнес-процессов. Отдельным видом можно выделить производственный аутсорсинг, играющий в последнее время все большую роль в деятельности ряда организаций. Так, например, аутсорсингу может быть передан сбор и обработка информации о местоположении и техническом состоянии машин, работающих на различных объектах, особенно при значительном их удалении от ЭП. Аутсорсинг бизнес-процессов характеризует комплекс второстепенных технологических операций, из числа которых на аутсорсинг могут быть переданы управление персоналом, реклама, логистика и др. Производственный аутсорсинг базируется на передаче предприятием части своих подразделений другим организациям, взаимодействие с которыми может осуществляться уже в рамках аутсорсинга.



Рисунок 11. Основные причины потери качества



Рисунок 12. Виды производственного аутсорсинга

Для ЭП основные виды производственного аутсорсинга представлены на рисунке 12.

К числу преимуществ, получаемых от аутсорсинга, можно отнести снижение себестоимости функций, передаваемых аутсорсеру. К тому же концентрация ЭП на основных функциях позволит проводить оптимальный реинжиниринг, повышая эффективность работы постоянным улучшением таких

показателей, как стоимость, качество, сервис, затраты.

Необходимо остановиться еще на одном из важнейших видов производственного аутсорсинга, к которому следует отнести подготовку и повышение квалификации сервисного персонала. Совершенно очевидно, что эти функции с наибольшей эффективностью могут выполнять вузы, в которых, конечно же, должны быть созданы условия для адресной подготовки специалистов. В качестве примера можно рассмотреть опыт, накопленный в этом направлении в результате совместной деятельности Сибирским государственным университетом путей сообщения (СГУПС) и ОАО «Восточная техника» – официальным дистрибьютором фирмы «CATERPILLAR» (CAT).

Повышение квалификации сервисного персонала. Сущность проблемы состоит в том, что ситуация, в которую попадает человек через несколько лет после получения профессионального образования, характеризуется нарастающим во времени разрывом между увеличивающимся количеством новых знаний, относящихся к его профессии, и его собственным уровнем компетенций.

В последнее время произошли большие изменения в конструкции строительных, дорожных и транспортных машин. Они стали высокотехнологичными комплексами, в связи с чем ЭП зачастую не используют все возможности машин, а эксплуатируют их при 50–75 % производительности. Это зависит не только от операторов, но в первую очередь от сервисных инженеров, которые зачастую не способны содержать машины в исправном состоянии из-за их сложной конструкции. Совершенно ясно, что они должны обладать компетенциями, отвечающими современному развитию техники, иметь практические навыки по оценке состояния машин, их узлов и знать методы технической поддержки.

Выход из сложившейся ситуации – в новом направлении деятельности вузов, базирующемся на заключении стратегического партнерства с мировыми лидерами в производстве техники и оборудования. ОАО «Восточная техника» и СГУПС создали современный «Учебный сервисный центр», обеспечивающий повышение квалификации сервисных инженеров CAT и подготовку сервисных инженеров – выпускников СГУПСа. «Восточная техника» оснастила лаборатории университета машинами, агрегатами, диагностической аппаратурой, специализированным инструментом, приспособлениями на безвозмездной основе. Обучение и аттестация сервисного персонала по программе SERV 3100, созданной под руководством автора, ведется профессорско-преподавательским составом университета.

Кроме того, имеются электронные тренажеры, как виртуальные, так и натурные. Таким образом, к одному из стратегических приоритетов повышения эффективности работы ТТМК можно отнести поддержание и повышение квалификации персонала на современном компетентностном уровне.

В пятой главе «Организация мониторинга технического состояния путевых машин» рассчитана энтропия, как мера неопределенности его состояния, обоснована методика прогнозирования остаточного ресурса конструктивных элементов машин, разработана дистанционная техническая

диагностика, приведены результаты реализации непрерывного мониторинга ТТМК.

Машинные комплексы представляют собой системы, обладающие неопределенностью технического состояния, количественной мерой которой является энтропия. Для отдельной машины энтропия может быть найдена на основе двухуровневой структурно-диагностической системы, содержащей только конструктивные элементы, приведенные в таблице 4, техническое состояние которых должно быть определено в ходе диагностирования.

Таблица 4. Двухуровневая структурно-диагностическая схема

№	Агрегаты, устройства		Узлы, механизмы	
(j)	Наименование	Обозначение	Наименование	Номер i
1	Двигатель внутреннего сгорания	1	Кривошипно-шатунный механизм	1
			Цилиндропоршневая группа	2
			Система питания	3
			Газораспределительный механизм	4
			Система смазки	5
			Система охлаждения	6
2	Трансмиссия	2	Муфта сцепления	7
			Коробка перемены передач	8
			Главный редуктор	9
			Соединительные валы	10
3	Ходовая часть	3	Главный редуктор	11
			Колеса, катки	12
			Оси, подшипники	13
4	Гидропривод	4	Трубопроводы	14
			Гидроцилиндры	15
			Рабочая жидкость	16
			Клапаны, распределители	17
			Насосы, моторы	18
5	Электрооборудование	5	Приборы освещения и сигнализация	19
			Стартер	20
			Генератор	21
			Аккумулятор	22
6	Управление	6	Тормозной механизм	23
			Система управления приводом	24
7	Рабочее оборудование	7	Рабочие органы	25
			Привод РО	26

Первый уровень (система Y) включает в себя агрегаты и устройства с возможным состоянием $y_1, y_2, \dots, y_m$ ($m = 7$). Узлы и механизмы относятся к системе X , состояние которой $x_1, x_2, \dots, x_n$ ($n = 26$). Энтропия системы X :

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i, \quad (17)$$

где p_i – вероятность состояния x_i .

Так как X и Y являются зависимыми системами, то полная условная

энтропия, характеризующая степень неопределенности системы Y после того, как состояние системы X полностью определено:

$$H(Y/X) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_i P(y_j / x_i) \log_2 P(y_j / x_i), \quad (18)$$

а энтропия машины

$$H_M = H(X/Y) = H(X) + H(Y/X). \quad (19)$$

Для принятой структурно-диагностической схемы $H(X) = 2,7$ бит, $H(Y/X) = 2,0$ бит. Максимальная энтропия машины $H_M = 4,7$ бит определяет количество информации, необходимое для полной оценки ее технического состояния. Поскольку каждая машина представляет собой независимую систему, то энтропия МП равна сумме энтропий входящих в его состав машин. При энтропии парка $\sum H_{Mi} \rightarrow 0$ его состояние известно, что позволяет прогнозировать даты проведения конкретных ТВ, а ее возрастание свидетельствует о частичном или полном отказе самой системы непрерывного мониторинга.

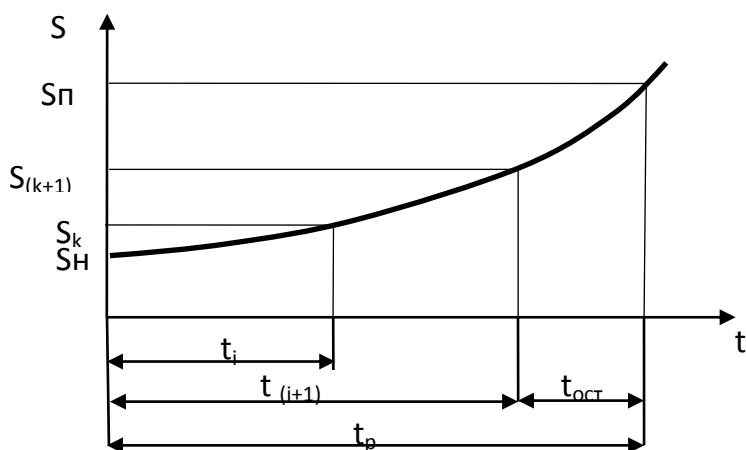


Рисунок 13. Частная реализация параметра технического состояния

Для оценки состояния агрегатов, узлов, сопряжений выбираются диагностические признаки и параметры, по которым можно сделать заключение о техническом состоянии машины в целом. У большинства узлов и деталей параметр технического состояния S изменяется от начального S_H до предельного значений $S_П$, как это показано на рисунке 13.

В случае постепенных отказов его изменение может быть описано целой рациональной функцией n -го порядка:

$$S(t) = S_H \pm a_1 t \pm a_2 t^2 \pm \dots \pm a_n t^n, \quad (20)$$

где $a_1, a_2, \dots, a_n$ – коэффициенты, определяющие характер зависимости параметра состояния от наработки t .

Эта же задача может быть решена с использованием степенной функции:

$$S(t) = S_H + V_H t^\alpha, \quad (21)$$

где V_H – скорость изменения параметра S технического состояния и показатель степени α определяются по результатам обработки предшествующей информации об изменении реализаций S для одного вида элементов машин при известной интенсивности изнашивания. Таким образом, может быть найден остаточный ресурс $t_{ост}$ до предельного его значения t_p .

Непрерывный мониторинг технического состояния ТТМ базируется на

дистанционной диагностике, эффективность которой определяется в первую очередь источником информации. Они сгруппированы в 4 вида: встроенные бортовые датчики; датчики, устанавливаемые дополнительно; внешние акустические источники; аудиосигналы, передаваемые по мобильному телефону, свидетельствующие о срабатывании индикаторов предельного состояния или появлении других, явных признаков неисправностей.

Дальнейшей задачей исследования являлась организация получения, кодирования и передачи информации. На рисунке 14 показана схема взаимодействия оборудования, входящего в комплект системы дистанционной диагностики (СДД), устанавливаемого на машине.

Штатные и дополнительно устанавливаемые датчики имеют выход на CAN шину. Последовательный опрос датчиков осуществляется с помощью контроллера и через GSM-модем сигнал передается на спутниковую GSM антенну. Контроллер, GSM-модем и GPS-чип являются принадлежностью бортового терминала, архитектура которого определяет технические возможности СДД, блок-схема которой приведена на рисунке 15.

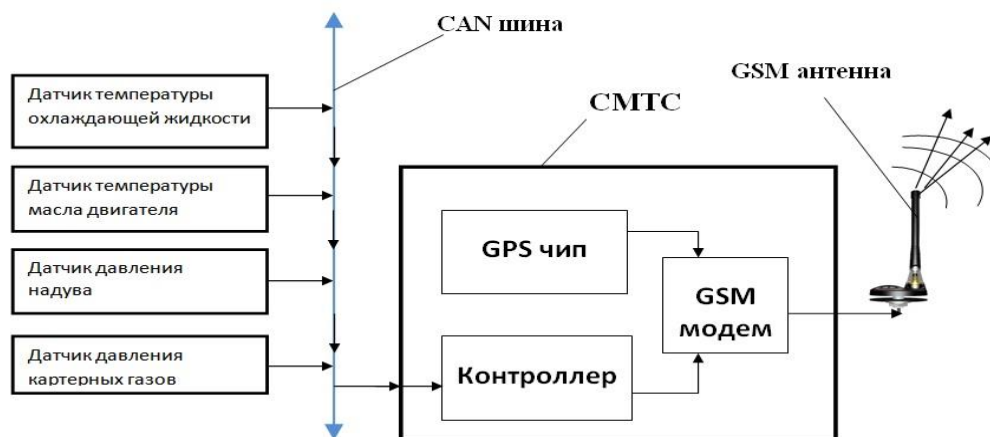


Рисунок 14. Схема взаимодействия бортового оборудования

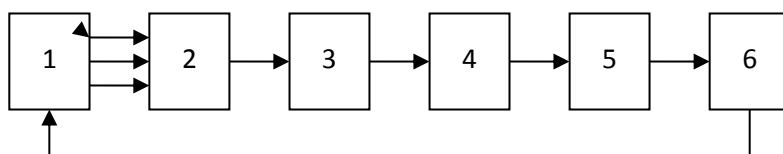


Рисунок 15. Блок-схема СДД: 1 – машина; 2 – бортовой терминал;
3 – транслятор (спутник); 4 – сервер ЦДП; 5 – ПК диспетчера;
6 – ПК сервисных групп

СДД представляет собой комплекс бортового оборудования ТТМ, транслятора с каналом связи и модулем определения местоположения ТТМ (GPS, ГЛОНАС), сервера центрального диспетчерского пункта, персональных компьютеров диспетчера и сервис-группы. К последней относятся сервис-инженеры, выполняющие ТО, ремонтные бригады, топливомаслозаправщики и др.

Предложенный нами подход к реализации непрерывного мониторинга

реализован в системе дистанционной диагностики экскаватора-погрузчика САТ428Е, входящего в состав машинного парка СГУПС. Он используется для круглогодичного производства земляных, погрузочно-разгрузочных, снегоуборочных работ и фактически является натурным испытательным стендом. В качестве бортового терминала выбрана система контроля расхода топлива СКРТ-45 (Республика Беларусь), которая может работать на всей территории России. Для подключения к CAN шине экскаватора терминала была проведена модернизация преимущественно за счет разработки нового программного обеспечения.

Выбор датчиков обусловлен набором диагностических параметров, подлежащих измерению в соответствии структурно-диагностической схемой. Так как основной задачей является отработка методики дистанционной диагностики, то для проведения экспериментальных исследований СДД выбрано минимальное количество датчиков, определяемое техническими возможностями СКРТ.

Для хранения и обработки информации, получаемой при дистанционной диагностике, используется сервер мониторинга транспорта «ОРФ-МОНИТОР» (ОРФ). После регистрации монитора в базе данных программного обеспечения ОРФ на почту ЭП высылаются логин и пароль, позволяющий выйти на его сервер, а результаты мониторинга технического состояния представляются в виде диаграмм, пример приведен на рисунке 16.

Обработка диаграмм ведется сопоставлением текущих значений параметров с предыдущими. При достижении заданной величины расхождения фиксируются их абсолютные величины и наработка агрегата. С использованием определенных зависимостей строятся частные реализации параметров технического состояния и рассчитывается остаточный ресурс.

Кроме того, на экран ПК диспетчера выводится рассчитанная величина энтропии каждой машины и парка, свидетельствующая об исправности СДД.

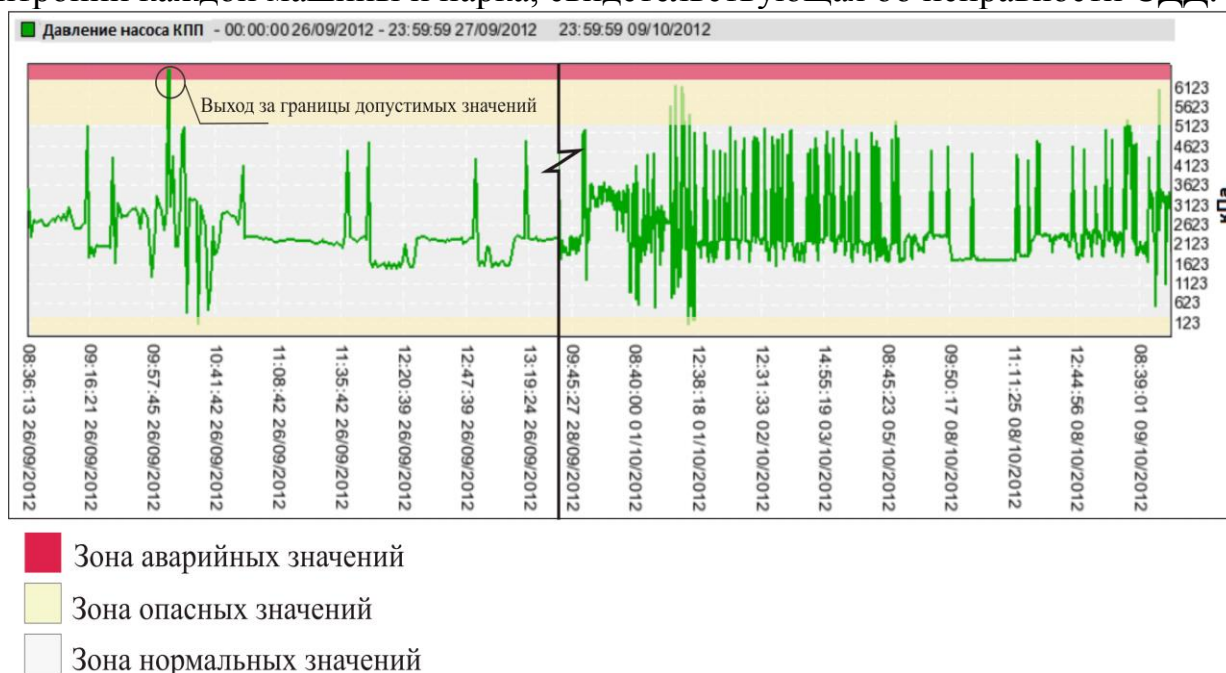


Рисунок 16. Диаграмма изменения давления масла в коробке передач

Шестая глава «Управление системой технического сервиса путевых машин» содержит стратегию управления технической эксплуатацией ТТМК, методику количественной оценки надежности процессов, расчет обобщенного показателя надежности операционной структуры, концептуально-логическую модель управления ТС.

Надежность является одной из важнейших характеристик качества технической системы, определяющих совокупность признаков, позволяющих позиционировать ее относительно других систем, а общепринятым является подход к проблеме обеспечения эксплуатационной надежности, при котором процесс эксплуатации рассматривается как совокупность «человек–машина–среда».

Очевидно, что в эту совокупность следует добавить еще ряд операций, которые могут оказать существенное влияние на качество СТСМК: новые технологии ТО и Р, оборудование и материалы для их реализации; подготовку и повышение квалификации персонала ЭП всех рангов; оптимизацию выполняемых функций; тотальное качество; социальный пакет и др. По существу, эти операции могут рассматриваться как инфраструктура, являющаяся элементом управления СТСМК. Таким образом, производственную эксплуатацию можно рассматривать как континуум «человек – инфраструктура – среда – ТТМК», т.е. как организационно-техническую систему со специфическими показателями ее надежности.

Определяющим показателем является безотказность СТСМК, характеризующая способность каждого процесса поддерживать качество ТС в течение заданного промежутка времени. Под долговечностью следует понимать возможность сохранения эффективности реализации всех организационных и технических процессов в течение их жизненного цикла, а ремонтпригодность трактуется как доступность для корректировки всех операций. Показатель сохраняемости применим к ТС в полной мере, поскольку разработанные ранее процессы, находясь в состоянии ожидания, не должны терять своей актуальности в течение жизненного цикла СТСМК.

подавляющее большинство процессов известно и используется в той или иной форме при реализации различных СТОР. Следовательно, моделирование СТСМК заключается в формировании набора процессов и выборе способа их взаимодействия, причем процесс ТО и Р физически осуществлен и поставлена задача его оптимизации. Поиск оптимальных условий реализации отдельных процессов или их групп является одной из важнейших задач, возникающих при создании и совершенствовании как самой СТСМК, так и входящей в ее состав СТОР. Параметр оптимизации представляет собой количественную характеристику цели и является откликом на воздействие возмущающих факторов, определяющих поведение системы. Он должен иметь физический смысл, что необходимо для интерпретации результатов исследования. В нашем исследовании в качестве оптимизационных при разработке стратегии ТС приняты критерии: максимум надежности технической эксплуатации (НТЭ) и минимум затрат.

СТСМК является многокритериальной организационно-технической

системой, эффективность которой определяется многими свойствами, каждое из которых имеет набор показателей качества. Ряд этих показателей имеет количественное выражение. Но некоторые показатели могут характеризовать свойство только с качественной стороны, например: вежливость и фирменный стиль обслуживающего персонала; техническое оснащение зоны ТО и Р; тщательность выполнения моечно-очистных операций и др.

Шкала желательности позволяет более предпочтительному значению показателя присвоить и большую оценку желательности.

Изменение частной желательности d_i задается уравнением

$$P = (\prod_{i=1}^n d_i)^{\frac{1}{n}}, \quad (23)$$

Рисунок 17. Шкала желательности СТЭМП

предоставлена некоторая спецификация, содержащая перечень операций с количественными оценками, выполненными на основе имеющихся представлений об их значимости.

Главной целью подавляющего большинства исследований процессов ТС является определение оптимальной периодичности ТВ, обеспечивающей минимизацию затрат на обслуживание парков, что, безусловно, играет доминирующую роль при разработке стратегии ТС.

Но вместе с тем немаловажное значение имеет целый ряд вспомогательных операций, предшествующих или сопутствующих ТО и Р, которые определенным образом влияют на показатели качества ТС. Операционная структура ТС построена таким образом, что позволяет активно вмешиваться в процесс её функционирования. При этом каждая операция допускает возможность такого ее уровня, который представляет интерес на рассматриваемом временном интервале. Следовательно, СТСМК можно рассматривать как управляемую организационно-техническую систему, каждый компонент которой имеет стохастический характер изменения состояния.

Обобщенные показатели надежности P_j , полученные по выражению (22), приведены в таблице 5. Натуральные оценки могут быть присвоены и основным процессам, т.е. процессам существующей системы. Она включает в себя систему ТО и Р, например ППР, на которую воздействуют дополнительно вводимые резервные процессы (1–6): новые технологии (фрикционная металлизация и упрочнение поверхностей трения); аутсорсинг; модификаторы трения; непрерывный дистанционный мониторинг технического состояния машин; кадровое обеспечение; тотальное качество. Количество операций может быть уменьшено или увеличено.

Поддерживающие процессы можно рассматривать как управляющие факторы, степень влияния которых на СТСМК устанавливается через количественные оценки их надежности. При этом надежность самой системы будет являться параметром ее оптимизации, позволяющим управлять системой ТЭ с использованием обратной связи, как это показано на рисунке 18.

Результат воздействия поддерживающих процессов на СТОР оценивается показателем надежности P_H , а количественно уровень надежности технического сервиса может характеризоваться коэффициентом надежности $K_{НТС}$.

Таблица 5. Показатели желательности

№ п/п	Факторы (процессы)	P_j
1	Новые технологии	0,219
2	Аутсорсинг	0,123
3	Модификаторы трения	0,253
4	Непрерывный мониторинг	0,296
5	Подготовка кадров	0,207
6	Тотальное качество	0,181

После определения частных желательностей для них также можно рассчитать показатели надежности.

$$K_{НТС} = \frac{P_H^{СТЭМП}}{P_H}, \quad (24)$$

где P_H – показатель надежности СТЭМП без управляющих факторов;

$P_H^{СТЭМП}$ – показатель надежности системы с поддерживающими процессами.

Управление системой осуществляется по параметру $P_H(t)$ при сопоставлении исходного уровня $K_{ТИ}^{СТЭМП}$ с прогнозируемым. Управляющий сигнал поступает на блок «Выбор процесса», где выбираются процессы, требующие корректировки.

Зная количественные оценки факторов, можно перейти к построению модели СТСМК с поддерживающими процессами, которая представлена в виде, показанном на рисунке 18.

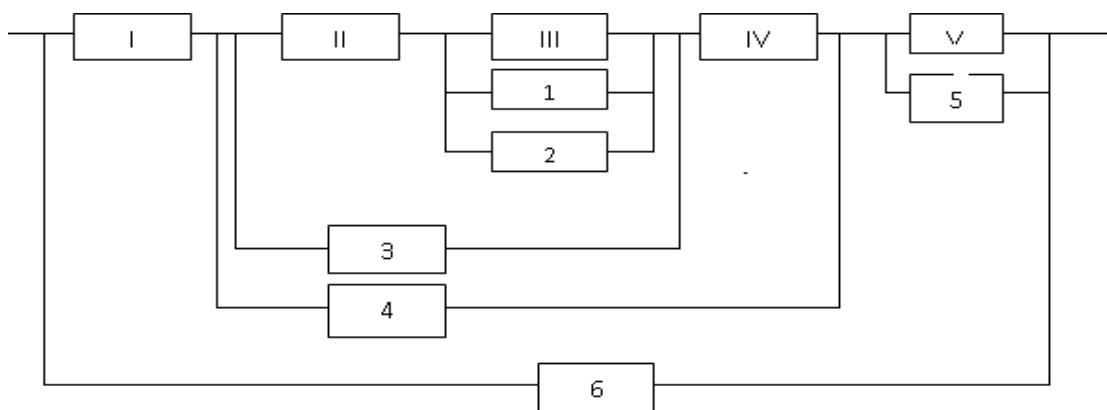


Рисунок 18. Модель СТСМК с поддерживающими процессами

Основное соединение компонентов модели факторов, обозначенных римскими цифрами I–V, представляет собой существующую ППР, рассматриваемый вариант которой содержит компоненты: I – планирование; II – ТО; III – Р; IV – материально-техническое обеспечение; V – организация производства, в том числе и кадры. Так как поддерживающие компоненты 1–6 находятся в том же режиме, что и основные, то имеет место нагруженный резерв, причем отказ основного соединения невозможен. Каждому из компонентов основного соединения может быть присвоен достаточно высокий показатель надежности, например $P_I = P_{II} = P_{III} = P_{IV} = P_V = 0,95$, при котором надежность основного соединения:

$$P_{\text{осн}}(t) = \prod_{i=1}^5 P_i(t), \quad P_{\text{осн}}(t) = 0,774. \quad (25)$$

Компоненты 1 и 2 подключаются к III компоненту, что повышает показатель его надежности:

$$P_{\text{III}}(t) = 1 - \prod_{j=1}^m [1 - P_j(t)]; \quad P_{\text{III}} = 0,967. \quad (26)$$

Аналогично рассчитываются показатели надежности всех поддерживающих компонентов, что позволяет повысить надежность СТСМК:

$$P_{\text{НП}} = 0,871.$$

Сопоставляя между собой показатели надежности исходной и разрабатываемой системы, по (8) можно найти коэффициент надежности ТС:

$$K_{\text{НТС}} = P_{\text{НП}} / P_H = 1,12.$$

Существенным образом на величину $K_{\text{НТС}}$ влияет исходный уровень надежности основного соединения. Так, при $P_{I-V} = 0,9$ и тех же показателях надежности поддерживающих компонентов $K_{\text{НТС}} = 1,29$, а при $P_{I-V} = 0,8$

$K_{\text{HTC}} = 1,78$. Проведенный анализ показывает, что увеличение поддерживающих компонентов, т.е. операций, улучшающих любой технологический процесс ТС, даже при их относительно невысоких показателях надежности, существенно повышает надежность СТСМК.

Одним из комплексных показателей надежности является коэффициент технического использования ТТМК:

$$K_{\text{ТИ}} = \frac{t}{t + t_{\text{в}} + t_{\text{об}}}, \quad (27)$$

где t – наработка в планируемом периоде; $t_{\text{в}}$ – время восстановления после отказа; $t_{\text{об}}$ – суммарное время плановых технических воздействий.

Эффективность разрабатываемой СТСМК оценивается увеличением $K_{\text{ТИ}}$, достигаемым прежде всего увеличением наработки на отказ агрегатов и узлов машин. Кроме того, сокращается среднее время восстановления после износных и внезапных отказов, которое в 3–5 раз больше, чем до их возникновения. Сокращается также и время простоев машин при плановых и внеплановых обслуживании, поскольку при выполнении тех или иных технических воздействий исключается необходимость проведения работ, которые не диктуются фактическим состоянием агрегатов и узлов. Следовательно, $K_{\text{ТИ}}$ может быть представлен в виде:

$$K_{\text{ТИ}} = \frac{tK_{\text{HTC}}}{tK_{\text{HTC}} + \frac{(t_{\text{в}} + t_{\text{об}})}{K_{\text{HTC}}}}, \quad \text{или} \quad K_{\text{ТИ}} = \frac{t}{t + \frac{(t_{\text{в}} + t_{\text{об}})}{K_{\text{HTC}}^2}}. \quad (28)$$

Время простоя машины ($t_{\text{в}} + t_{\text{об}}$) зависит от многих факторов и может изменяться в довольно широком диапазоне, достигающем двух и более раз. Так, например, для экскаватора ЭО-4124 при календарном сроке эксплуатации 8 лет и 60 % непредвиденных отказов.

$$t_{\text{в}} + t_{\text{об}} = 1900 \text{ ч.}$$

Задаваясь рядом значений $K_{\text{HTЭ}}$, можно найти диапазон изменения $K_{\text{ТИ}}$ для двух случаев:

– при неизменной наработке уменьшается суммарное время простоев

$$(t_{\text{в}} + t_{\text{об}}) = f(K_{\text{HTC}});$$

– при уменьшении простоев увеличивается наработка $(t_{\text{в}} + t_{\text{об}}) = f(K_{\text{HTЭ}})^2$.

Диапазон изменения $K_{\text{ТИ}}$ показан на рисунке 19.

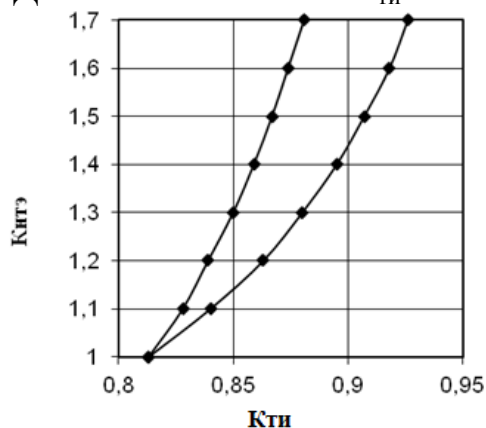


Рисунок 19. Диапазон изменения $K_{\text{ТИ}}$

Анализ приведенных зависимостей позволяет считать, что формула (28) может быть преобразована к виду:

$$K_{\text{ТИ}} = \frac{t}{t + \frac{(t_{\text{в}} + t_{\text{об}})}{K_{\text{HTC}}^{\beta}}}, \quad (29)$$

Показатель степени при $K_{\text{HTЭ}}$ зависит от индивидуальных особенностей машины и от МП в целом, и может принимать значения $\beta = 1,0\text{--}2,0$. Если сокращается только время восстановления или

только увеличивается наработка, то $\beta = 1$, при одновременном изменении этих показателей $\beta = 2$.

Таким образом, изменение количества и совершенствование поддерживающих процессов, повышающих надежность системы, являются способом управления СТЭМП изменением $K_{НТЭ}$, который представляет собой оценку качества.

Сущностью стратегии управления является подбор и комплектование поддерживающих процессов, осуществляемых введением в систему технической эксплуатации избыточных по отношению к минимально необходимой структуре компонентов, выполняющих в режиме нагруженного резерва те же функции, что и основные. Их эффективность должна быть соотнесена с относительно невысокой технической и организационной сложностями, доступностью для широкого круга эксплуатационных предприятий, возможностью регулирования уровня значимости, стоимостью и другими существенными для конкретного предприятия показателями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ эксплуатационных отказов путевых, строительных, дорожных и транспортных машин, в результате которого установлено, что 40–60 % отказов вызываются нарушением технологических процессов обслуживания и ремонта ТТМК. Это вызывает необходимость совершенствования организации, повышения качества и надежности технического сервиса.

2. Разработанная методология операционного менеджмента, включающего взаимосвязанные технические, организационные и технологические операции, определяемые инфраструктурой эксплуатационного предприятия, позволяет обеспечить организационно-технологическую надежность производственных процессов за счет дополнения базовых операций СТОР и возможностью их количественной оценки, определяющей качество технического сервиса.

3. Выполненное моделирование количественных параметров объектно-ориентированной системы ТО и Р показало возможность существенного сокращения количества ТВ. Это приведет к снижению простоя машин в ТВ в первом цикле на 30–35 %. При этом увеличится коэффициент готовности комплекса машин. Во втором межремонтном периоде при уменьшении периодичности это снижение составляет 15–20 %. В последующем цикле при наработке машин более 10 тыс. ч параметры надежности машин по сравниваемым системам практически совпадают.

4. Модели оценочных систем, основанные на методах комплексной сравнительной оценки и теории мер сходств, позволили рассчитать векторы значений показателей ТТМК, рейтинги СТОР которых в системе планово-предупредительных ремонтов составляют 1,394, в объектно-ориентированной системе технической эксплуатации – 1,608, в структурно-ориентированной – 1,795, что устанавливает их эффективность с позиций организационно-технологической надежности.

5. Выполненный синтез структурно-ориентированной СТЭМП за счет введения добавочных процессов, в качестве которых выступают новые технологии, аутсорсинг, модификаторы трения, непрерывный мониторинг технического состояния машин, подготовка кадров, тотальное качество, позволяет увеличить безотказность операций.

6. Реализованная дистанционная диагностика, одним из основных элементов которой является канал GPS-связи, и проведенные экспериментальные исследования способов измерения диагностических параметров – давления, скорости, уровня, виброакустических, тепловых, а также кодирования и расшифровки информации – увеличивают межремонтный цикл.

7. С использованием созданного терминала дистанционной диагностики оснащена путевая машина ВПРС-02 и погрузчик САТ 428Е, что на этапе опытного внедрения позволяет непрерывно контролировать 10 параметров технического состояния, ведется опытная эксплуатация погрузчика в реальных условиях.

8. Разработана двухуровневая модель структурно-диагностической схемы обобщенной машины, первый уровень которой содержит 7 агрегатов и устройств, а второй может включать в себя до 26 узлов. Разработан алгоритм дистанционного диагностирования и постановки диагноза, создана методика расчета остаточного ресурса конструктивных элементов на выбранном интервале наработки и предложено вместо плановых ТО и Р проводить необходимые ТВ, вызываемые техническими потребностями.

9. Проведено имитационное моделирование функциональной системы оценки качества СТОР, позволяющее оценить результаты совершенствования практически любой системы и сопоставить между собой их результаты по трем независимым алгоритмам: методом сравнительных комплексных оценок, методом теории мер сходств и оценки качества по показателям надежности ТЭ.

10. Предложена методика экономической оценки разработанной структурно-ориентированной СТСМК, позволяющая сравнить ее с существующими системами ТО и Р. В результате численного эксперимента установлено, что годовой экономический эффект от ее применения может достигать 50–200 тыс. руб. на одну машину путевого комплекса.

11. Достоверность и обоснованность предложенных решений по совершенствованию организации повышения качества и надежности технического сервиса путевых машин подтверждается соответствием результатов исследования концепции организации и управления сложными организационными и техническими системами, определяется адекватностью математических моделей, корректным применением методов научного исследования, достаточностью информационной базы, сходимостью результатов теоретического и экспериментального исследований в условиях эксплуатации ТТМК.

12. Практическая значимость полученных результатов заключается в разработанном инструменте, который помог раскрыть сущностные свойства и характеристики процессов систем технического сервиса, оценить их

количественно, выбрать из них наилучшие, влияющие на качество и надежность ТС для конкретных транспортно-технологических комплексов.

13. В результате внедрения разработанных организационно-технических, технологических решений улучшены показатели качества и надежности технического сервиса путевых машин, подтверждена целесообразность концепции сопряженного и сбалансированного использования организационных, производственных, технологических, информационных и экономических направлений и факторов повышения эффективности технической эксплуатации ТТМК на примере предприятий региона.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

а) Монографии:

1. Манаков, А.Л. Повышение совокупного потенциала строительных систем на основе применения аутсорсинга : монография / А.Л. Манаков, А.К. Пономарева, Д.А. Гордеев. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2006. – 52 с. (в т.ч. авт. 1,12 п.л.)

2. Манаков, А.Л. Повышение результативности деятельности дорожно-строительного комплекса : монография / А.Л. Манаков, С.М. Титов. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2007. – 74 с. (в т.ч. авт. 2,31 п.л.)

б) Публикации в ведущих научных рецензируемых журналах и изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки России:

1. Манаков, А.Л. Совершенствование организации технического обслуживания путевых машин [Текст] / А.Л. Манаков, М.С. Кирилова // Вестник Оренбургского государственного университета. Оренбург : Изд-во ОГУ, 2005. – № 12. – С. 89–91. (в т.ч. авт. 0,12 п.л.)

2. Манаков, А.Л. Структура парков машин и совершенствование их технического сервиса [Текст] / А.Л. Манаков, О.В. Ядрошников // Вестник Оренбургского государственного университета. Оренбург : Изд-во ОГУ, 2005. – № 12. – С. 92–94. (в т.ч. авт. 0,09 п.л.)

3. Манаков, А.Л. Повышение эффективности использования парков транспортных и технологических машин путем совершенствования системы технического обслуживания и ремонта [Текст] / А.Л. Манаков, О.В. Ядрошников // Научное обозрение: научно-образовательный журнал. М. : Наука, 2006. – № 2. – С. 72–77. (в т.ч. авт. 0,18 п.л.)

4. Манаков, А.Л. Имитационное моделирование функциональной системы для оценки качества технического обслуживания и ремонта парков транспортно-технологических машин [Текст] / А.Л. Манаков, В.В. Моисеенко // Проблемы информатики. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2010. – № 3 (7). – С. 36–42. (в т.ч. авт. 0,25 п.л.)

5. Манаков, А.Л. К вопросу теоретического обоснования модернизации регионального строительного комплекса [Текст] / А.Л. Манаков // Вестник Иркутского государственного технического университета. Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2011. – № 6 (53). – С. 174–179. (в т.ч. авт. 0,37 п.л.)

6. Манаков, А.Л. Производственный аутсорсинг и подготовка кадров в

технической эксплуатации машинных парков [Текст] / А.Л. Манаков, А.Ю. Кирпичников // Вестник Иркутского государственного технического университета. Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2012. – № 5 (64). – С. 109–113. (в т.ч. авт. 0,18 п.л.)

7. Манаков, А.Л. Пространственное развитие региональных дорожно-строительных комплексов [Текст] / А.Л. Манаков // Транспортное дело России: научно-производственный журнал. М. : МИИТ, 2012. – № 2 (99). – С. 34–36. (в т.ч. авт. 0,18 п.л.)

8. Манаков, А.Л. Энтропия технического состояния машинных парков [Текст] / А.Л. Манаков, В.Д. Верескун, В.С. Воробьев // Мир транспорта: научно-технический и производственный журнал. М. : МИИТ, 2012. – № 3(41). – С. 4–9. (в т.ч. авт. 0,12 п.л.)

9. Манаков, А.Л. Организационно-технологические решения по обеспечению надежности машин при строительстве и реконструкции объектов транспортных сетей [Текст] / А.Л. Манаков // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск : НГАСВ, 2012. – № 2. – С. 114–119. (в т.ч. авт. 0,37 п.л.)

10. Манаков, А.Л. Технологическая имитационная модель в системе сквозного планирования капитального ремонта линейно-рассредоточенных объектов [Текст] / А.Л. Манаков, В.С. Воробьев // Наука и техника транспорта. М. : МИИТ, 2013. – № 1. – С. 20–25. (в т.ч. авт. 0,18 п.л.)

11. Манаков, А.Л. Оценка состояния и моделирование организации эксплуатации и ремонта путевой техники в структуре дирекций по эксплуатации и ремонту путевых машин [Текст] / А.Л. Манаков // Вестник РГУПС. Ростов н/Д : РГУПС, 2013. – № 1 (49). – С. 109–117. (в т.ч. авт. 0,56 п.л.)

12. Манаков, А.Л. Объектно-ориентированный подход к организационно-производственному обеспечению инфраструктурного комплекса железных дорог [Текст] / А.Л. Манаков // Наука и техника транспорта. М. : МИИТ, 2013. – № 2. – С. 75–83. (в т.ч. авт. 0,56 п.л.)

13. Манаков, А.Л. Концепция имитационного моделирования организации производства инфраструктурного комплекса железных дорог [Текст] / А.Л. Манаков, В.С. Воробьев // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск : НГАСВ, 2013. – № 1. – С. 81–85. (в т.ч. авт. 0,18 п.л.)

14. Манаков, А.Л. Использование внутрицикловых параметров вращения коленчатого вала для оценки технического состояния двигателей внутреннего сгорания [Текст] / А.Л. Манаков, В.Н. Кочергин, А.С. Алехин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск : НГАСВ, 2013. – № 1. – С. 178–182. (в т.ч. авт. 0,12 п.л.)

15. Манаков, А.Л. Создание системы мониторинга технического состояния транспортных и технологических машин [Текст] / А.Л. Манаков, А.А. Игумнов, С.А. Коларж // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2013. – № 4. – С. 125–132. (в т.ч. авт. 0,30 п.л.)

в) Публикации в других изданиях:

1. Манаков, А.Л. Совершенствование технологии восстановления эксплуатационных свойств деталей машин на основе анализа жизненного цикла [Текст] / А.Л. Манаков, Д.С. Попов // Вестник института тяги и подвижного состава: труды 44-й Всерос. науч.-практ. конф. «Современные технологии железнодорожному транспорту и промышленности». – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2006. – С. 144–149. (в т.ч. авт. 0,18 п.л.)
2. Манаков, А.Л. Организационная эффективность: содержание и проблемы [Текст] / А.А. Кошкин, А.Л. Манаков // Проблемы организационной динамики сложных строительных систем : сб. науч. тр. – Новосибирск : НГАСУ, 2006. – С. 52–59. (в т.ч. авт. 0,25 п.л.)
3. Манаков, А.Л. Интегральный подход к марковскому процессу обновления парков транспортных и технологических машин [Текст] / А.Л. Манаков, А.Н. Коровин // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы эксплуатации и обслуживания транспортно-технологических машин». – Брянск : БГТУ, 2007. – С. 102–110. (в т.ч. авт. 0,31 п.л.)
4. Манаков, А.Л. К вопросу совершенствования ТО и Р путевых машин [Текст] / А.Л. Манаков, О.В. Ядрошников, А.В. Белоедов // Тезисы конференции «Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования». – Хабаровск : ДВГУПС, 2008. – С. 146–154. (в т.ч. авт. 0,18 п.л.)
5. Манаков, А.Л. Экспертные системы в организации технического обслуживания и ремонта путевых машин [Текст] / А.Л. Манаков // Сб. науч. тр. «Новые концептуальные решения в развитии регионального инвестиционно-строительного комплекса». – Новосибирск : НГАСУ, 2008. – С. 146–154. (в т.ч. авт. 0,56 п.л.)
6. Манаков, А.Л. Совершенствование системы ремонтно-восстановительных работ для смешанных парков [Текст] / А.Л. Манаков, А.Ю. Кирпичников, А.В. Белоедов // Сб. науч. тр. 6-й Международной науч.-техн. конф. «Проблемы качества машин и их конкурентоспособности». – Брянск : БГТУ, 2008. – С. 541–543. (в т.ч. авт. 0,06 п.л.)
7. Манаков, А.Л. О хозяйственной целостности регионального дорожно-строительного комплекса [Текст] / А.Л. Манаков, С.М. Титов // Сб. науч. тр. «Проблемы посткризисного развития сложных систем». – Новосибирск : НГАСУ, 2009. – С. 45–55. (в т.ч. авт. 0,31 п.л.)
8. Манаков, А.Л. Моделирование оценочных систем качества технического обслуживания парков транспортно-технологических машин [Текст] / В.В. Моисеенко, А.Л. Манаков // Мат-лы 6-й Всерос. научно-практ. конф. «Политранспортные системы». – Новосибирск, 2009. – С. 398–404. (в т.ч. авт. 0,25 п.л.)
9. Манаков, А.Л. Структурно-ориентированная система технической эксплуатации парков строительных и дорожных машин [Текст] / А.Л. Манаков, В.А. Каргин, А.Ю. Кирпичников // Мат-лы конф. с участием иностранных ученых «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды». Т. 3. Машиноведение. – Новосибирск : Институт горного дела СО РАН, 2010. – С. 244–247. (в т.ч. авт. 0,12 п.л.)

10. Манаков, А.Л. Операционный менеджмент технической эксплуатации машинных парков [Текст] / А.Л. Манаков, А.Ю. Кирпичников // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте – 2010». – Одесса, 2010. – С. 24–29. (в т.ч. авт. 0,18 п.л.)

11. Манаков, А.Л. Обоснование набора параметров совместной деятельности участников дорожно-строительного комплекса [Текст] / А.Л. Манаков, С.М. Титов // Сб. тр. III Всерос. науч.-техн. конференции, посвященной 80-летию НГАСУ. – Новосибирск : НГАСУ, 2010. – С. 344–348. (в т.ч. авт. 0,18 п.л.)

12. Манаков, А.Л. Экономическое обеспечение повышения надежности технологических машин [Текст] / А.Л. Манаков, Е.В. Самойлова, Г.Г. Ядрошникова // Мат-лы VII Всерос. науч.-техн. конф. «Политранспортные системы». – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2010. – С. 430–435. (в т.ч. авт. 0,12 п.л.)

13. Манаков, А.Л. Формирование системы технической эксплуатации транспортных и технологических машин [Текст] / А.Л. Манаков, В.А. Каргин, А.Ю. Кирпичников // Мат-лы VII Всерос. науч.-техн. конф. «Политранспортные системы». – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2010. – С. 425–429. (в т.ч. авт. 0,12 п.л.)

14. Манаков, А.Л. Выбор оптимальных диагностических параметров с целью обеспечения работоспособности машин в процессе эксплуатации [Текст] / А.Л. Манаков, А.С. Алехин, В.И. Кочергин // Сб. науч. тр. Sword Междунар. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании». – Одесса, 2011. – Т. 2. – С. 50–52. (в т.ч. авт. 0,06 п.л.)

15. Манаков, А.Л. Системный анализ и тотальное качество технической эксплуатации машинных парков в транспортном строительстве [Текст] / А.Л. Манаков, А.Ю. Кирпичников // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. № 3 (76). – Алматы, 2012. – С. 3–7. (в т.ч. авт. 0,18 п.л.)

з) Свидетельства на авторские права и изобретения:

1. Свидетельство государственной регистрации программ для ЭВМ № 2910610454. Моделирование функциональных систем оценки качества ТО и Р парка транспортно-технологических машин» (оценка качества ТО и Р) [Текст] / А.Л. Манаков, В.В. Моисеенко: заявитель и патентообладатель СГУПС. – № 2009616035.

2. Патент № 129686 Российская Федерация, МПК G 07 C 5/00, Система мониторинга технического состояния транспортного средства [Текст] / А.Л. Манаков, А.И. Игумнов, А.Ю. Кирпичников: заявитель и патентообладатель СГУПС. – № 2012142455/08: заявл. 04.10.12: опубл. 27.06.13, Бюл. № 18. – 6 с.

МАНАКОВ Алексей Леонидович

**ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И ПРАКТИКА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ОРГАНИЗАЦИИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ
ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ПУТЕВЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ
ОПЕРАЦИОННОГО МЕНЕДЖМЕНТА И ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА**

Специальность 05.02.22 – Организация производства (транспорт)
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Подписано в печать _____ Заказ № _____ Формат 60 x 90/16 Тираж 100 экз.
Усл.-печ.л. – 2,0

127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, УПЦ ГИ МИИТ