

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Семенова Александра Павловича

на тему: «Разработка модели управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»

Актуальность избранной темы.

Тема диссертации безусловно актуальна. Внедрение бортовых микропроцессорных систем управления локомотивов, автоматизированных систем технического диагностирования, создание на железнодорожном транспорте современный цифровых систем управления, переход на техническое обслуживание и ремонт подвижного состава на технологию контракта жизненного цикла, развитие цифровых технологий, необходимость повышения эффективности отечественной транспортной системы – всё это ставит задачу разработки новой перспективной технологии технического обслуживания и ремонта, что и выполнено А.П.Семеновым в его диссертации применительно к отечественным локомотивам.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

При анализе мировых трендов развития локомотивных комплексов и во всех остальных разделах в качестве базовой использована теория локомотивной тяги. При анализе надёжности локомотивов применены математические методы теории вероятности, теории статистики и теории надёжности, с помощью которых обработаны большие массивы данных об эксплуатации локомотивов. При анализе возможностей современных автоматизированных систем технического диагностирования и возможности их реализации использованы методы теории информации и информационных систем, методы теории автоматического управления. При разработке метода технико-экономической оценки эффективности систем диагностирования использованы принятые методы расчёта окупаемости инновационных проектов и методы имитационного моделирования технологических процессов применительно к условиям локомотивных депо. При разработке системы поддержки принятия решений системы технического обслуживания и ремонта с использованием систем диагностирования использован метод «Цифровой двойник» и вероятностно-статистические методы.

При разработке модели жизненного цикла с использованием систем диагностирования применены технологические методы «Киберфизические производственные системы», «Lean Production» и «Toyota Production System», методы систем менеджмента качества и сервисного обслуживания. При обработке статистики и имитационном моделировании использованы специально разработанные автором программы на алгоритмическом языке Visual Basic for Applications (VBA) в среде Excel. Всё это обеспечивает высокую степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Научная новизна диссертации заключается в следующем.

1. Разработана технологическая модель управления жизненным циклом локомотивов с использованием автоматизированных систем технического диагностирования при их техническом обслуживании и ремонте.
2. На основании вероятностно-статистического анализа данных об эксплуатации локомотивов с применением разработанного метода и методики обоснована степень влияния надёжности локомотивов и их системы ТОиР на эффективность эксплуатации локомотивов.
3. Разработан метод расчёта вероятности наступления отказов локомотивов согласно их категориям по статистическим данным об эксплуатации локомотивов и заданным показателям надёжности оборудования локомотивов согласно национальным стандартам.
4. Разработан метод анализа информационной эффективности систем технического диагностирования с использованием математического аппарата теории информации.
5. Разработан метод определения технико-экономической целесообразности применения различных систем технического диагностирования оборудования локомотивов.
6. Разработан метод прогнозирования продолжительности технического обслуживания и ремонта с определением индивидуального объёма ремонта по данным систем диагностирования путём имитационного моделирования с использованием динамически изменяющейся статистики продолжительности выполнения предыдущих ТОиР.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов.

Разработаны практически значимые научные методы оценки эффективности эксплуатации локомотивов, оценки информационной

эффективности автоматизированных систем технического диагностирования, оценки экономической целесообразности применения систем диагностирования, прогнозирования времени проведения ТОиР при индивидуальном для каждой секции локомотива планировании объема ремонта по данным систем диагностирования. В результате разработана научно обоснованная модель управления жизненным циклом локомотивов при их ТОиР с использованием систем диагностирования, которая должна быть положена в основу управления надёжностью современных отечественных локомотивов. Модель реализована в группе компаний «ЛокоТех» в сервисном локомотивном депо «Братское».

Соответствие диссертации паспорту научной специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»

В результате выполненных исследований решена комплексная научно-техническая задача создания совокупности методов, математических моделей и технических средств, обеспечивающих повышение эффективности ремонтного производства и ТО подвижного состава за счет оптимизации производственных процессов предприятия от момента проектного замысла до принятия решения о необходимости модернизации и реконструкции. Таким образом, диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» по пунктам:

- п. 1: *Эксплуатационные характеристики и параметры подвижного состава, повышение их эксплуатационной надёжности и работоспособности. Системы электроснабжения железных дорог и метрополитенов. Методы и средства снижения потерь электроэнергии.*
- п. 2: *Системы технического обслуживания, эксплуатации и технологии ремонта устройств электроснабжения и подвижного состава, развитие парков локомотивов и вагонов.*
- п. 3: *Техническая диагностика подвижного состава и систем электроснабжения. Критерии оценки состояния подвижного состава и систем электроснабжения железных дорог и метрополитенов. Системы автоматизации процессов технической диагностики этих объектов.*

Исследование соответствует формуле специальности – направлено на разработку проблем качества подвижного состава, ремонта и технического обслуживания. Объектами являются локомотивы, технологии ремонта и технического обслуживания. Исследования направлены на повышение надёжности и качества подвижного состава.

Апробация работы и публикации

Основные результаты научного исследования достаточно широко доложены, обсуждены и одобрены на 15-и научно-практических международных (МНПК) и всероссийских (ВНПК) конференциях. Диссертация доложена и одобрена на заседании кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ), 2020, 2021).

Основные положения диссертации и полученные результаты опубликованы в двух научных монографиях (одна из них с единственным автором) и в 64-х научных работах, из них 12 статей в рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, 4 патента, 17 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ, 29 статей в отраслевых журналах и трудах конференций, 2 научные монографии. Вторая монография без соавторов в целом соответствует содержанию диссертации, имеет три отзыва в соответствии с требованиями к научным монографиям.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, отражает ее структуру и положения, выносимые на защиту. Автореферат по структуре и оформлению соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11–2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ.

Диссертация состоит из введения, семи разделов, заключения, списка использованных сокращений, списка литературы из 401 источника, двух приложений со справками о внедрении результатов исследований, содержит 379 страниц основного текста, включая 60 таблиц и 128 рисунков. Имеется два приложения со справками о внедрении результатов исследований в компаниях «ЛокоТех» и «Рослокомотив». Материал оформлен строго с требованиями ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Материал читаем, имеет логическую последовательность хорошо иллюстрирован. Раздел 1 является литературным обзором, разделы 2 – 5 являются математически насыщенными и рассматривают различные аспекты темы исследования, раздел 6 подводит итог исследования, раздел 7 – описывает практическую реализацию исследований автора. В конце каждого раздела есть

подраздел с выводами, что существенно повышает воспринимаемость материала.

Введение в целом совпадает с общей характеристикой работы в автореферате и содержит основную характеристику работы. При перечислении авторов, разрабатывавших тему исследования ранее, имеются ссылки на их основные труды. Приведена аннотация содержания и логика следования материала.

Первый раздел является по сути литературным обзором, в котором автор комплексно описал текущую состояние мировой и отечественной систем технического обслуживания и ремонта (ТОиР) тягового подвижного состава и их систем технического диагностирования, в т.ч. бортовых. Также выполнена оценка развития транспорта с позиций киберфизических производственных систем как современного этапа развития автоматизированных систем управления (АСУ) производственными системами. Особый интерес представляет отечественный опыт как уже адаптированный к национальным особенностям ТОиР, в т.ч. к сервисному обслуживанию через контракт жизненного цикла. Считаю важным и обоснованным вывод автора о необходимости сохранить планово-предупредительную систему ремонта локомотивов, но с комплексным внедрением элементов предиктивного ремонта через автоматизированные системы технического диагностирования. Считаю важным и предложения автора по уточнению терминологии национальных стандартов в области надёжности и технического диагностирования которые явно не отвечают современному этапу развития ТОиР. Первый раздел полностью описывает текущее состояние области исследования и условия, в которых выполнено научное исследование.

Второй раздел посвящен вероятностно-статистическому анализу эффективности эксплуатации локомотивов. Автор отошёл от принятого достаточно субъективного способа рассмотрения нахождения локомотивов в депо и или в эксплуатации (эксплуатируемый и неэксплуатируемый парк) и предложил в методологии Lean Production рассмотреть полезную работу локомотива (состояние создания прибавочной стоимости) и все остальные. В качестве полезного времени эксплуатации локомотива автор взял данные информационной системы АСОУП ОАО «РЖД» с кодом состояния «В голове поезда». Автор рассмотрел все основные серии локомотивов, взяв по каждой из них 40 локомотивов за более чем за год их эксплуатации. Интересен и подход автора к достижимости лучших показателей через данные лучших из каждых 40 локомотивов. В результате автор определил практически достижимые

показатели качества эксплуатации локомотивов. Также показал, что может дать техническая диагностика и новая организация ТОиР в части повышения эффективности эксплуатации локомотивов.

Третий раздел посвящён теоретическому осмыслению роли систем технического диагностирования на этапе эксплуатации жизненного цикла локомотивов. Автор последовательно выполнил анализ систем диагностирования с позиций национальных стандартов, теорий познания, автоматизированных систем, теории информации и др. Представляется интересным гносеологический вывод автора об ограниченности информативности систем диагностирования, в результате чего логичным стало введение коэффициента информативности диагностики как отношения её информативности к общей энтропии информации о техническом состоянии локомотива. И не менее логичным стало предложение рассматривать не все виды отказов, число которых бесконечно, а только имеющие место на практике, после чего логичным стало обращение к формуле Шеннона с вероятностным подходом к информативности и энтропии информационного пространства. Далее проявился практический опыт автора, понимающего неравноценность последствий тех или иных отказов. Предложение автора дополнить формулу Шеннона удельным весом отказа в общей стоимости ТОиР представляется очень интересным и полезным. Дальнейшие выполненные в разделе расчёты информативности различных видов систем диагностирования подтвердили жизнеспособность предложенного метода. Считаю третью главу диссертации автора теоретически главной в диссертации.

Четвёртый раздел рассматривает системы диагностирования с позиций их экономической эффективности. Действительно, за последние 30 лет разработаны автоматизированные системы технического диагностирования практически для всех видов оборудования локомотивов. Но их внедрение требует миллиардные инвестиции – нужно обоснование целесообразности внедрения. Автор из практического опыта проанализировал возможные статьи расходов и доходов от систем диагностики, в результате чего разработал метод имитационного моделирования во времени ТОиР с определением эффекта с использованием принятого у экономистов показателя «Чистая приведённая стоимость» (Net Present Value – NPV). В качестве методики предложена программа моделирования в среде Excel с использованием алгоритмического языка VBA. Интересны результаты моделирования работы различных систем диагностирования, показавшие, что предиктивный ремонт приводит к увеличению расходов на ТОиР. И единственный источник эффекта – это

сокращение эксплуатируемого парка, возникающее в результате сокращения простоя локомотивов с ремонтных депо. Следует отметить, что полученный автором результат применим к существующему парку с его достаточно низкой надёжностью. Кроме теоретических выводов четвёртый раздел интересен и определением набора систем диагностирования, целесообразных к практическому применению.

Пятый раздел также связан с применением в практике ТОиР имитационного моделирования, на этот раз связанного с прогнозированием продолжительности ТОиР с применением систем диагностирования и индивидуальным планированием объёма ремонта, который согласно данным раздела 4 может существенно меняться как в сторону увеличения, так и уменьшения. Это может негативно сказаться на организации эксплуатации локомотивов, когда ещё при постановке их на ТОиР планируется их подвязка под подходящие поезда. Продолжительность отдельных операций ТОиР зависит от очень многих факторов: квалификация исполнителей, дислокация склада, наличие инструмента и оснастки и много другого. Неслучайно нормы ТОиР в разных депо даже для одной серии различны. Тем более тяжело предсказать продолжительность при индивидуальном планировании ремонта. Предложенный автором самонастраивающийся вероятностно-статистический метод имитационного моделирования позволяет преодолеть важный недостаток новой технологии ТОиР. Современная организация ТОиР предполагает управление с использованием информационных компьютерных ERP и MES систем с сохранением информации за весь период эксплуатации локомотивов. Поэтому предлагаемый автором метод прогнозирования вероятности окончания ТОиР по различным периодам времени по статистике предыдущих ТОиР имеет право на практическое использование.

Шестой раздел подводит итог выполненным в предыдущих разделах исследованиям. Первые подразделы анализируют применимость различных известных практик к ТОиР локомотивов: систем менеджмента качества, ИТЛ, Lean Production, Toyota Production System и других известных методик, включая методы четвёртой промышленной революции и киберфизических производственных систем. При этом автор активно использует свой собственный опыт внедрения новых технологий в ремонтных депо. Результатом является предложенная автором универсальная ремонтная позиция, отвечающая всем описанным принципам и требованиям. В заключении раздела последовательно сформулированы требования к современному ТОиР с применением систем

технического диагностирования, которые по сути являются технологической моделью системы ТОиР.

Седьмой раздел посвящён описанию практической реализации теоретических исследований автора, основным из которых является новый технологический процесс технического обслуживания и ремонта электровозов переменного тока в сервисном локомотивном депо «Братское» компании «ЛокоТех-Сервис», входящей в группу сервисных компаний «ЛокоТех» холдинга «Трансмашхолдинг». Депо расположено на станции Вихоревка Восточно-Сибирской железной дороги ОАО «РЖД». Приведена методика практической реализации модели, описанной в разделе шесть. Автор принимал личное участие в модернизации депо, что отражено в материале раздела 7. Приведены полученные эффекты. Глава является основным доказательством эффективности предложенных автором теоретических и научно-практических подходов.

В Заключении сформулированы полученные в результате научно-практических исследований выводы и предложения по дальнейшим работам, которые соответствуют поставленной в начале задачи исследования, содержат научную новизну, научно-практический результат работы.

Раздел «**Литература**» приводит в алфавитном порядке все литературные источники, на которые есть ссылки в тексте диссертации. Следует отметить полноту ссылок по тексту диссертации при использовании «чужого» материала», о чём свидетельствует и почти стопроцентная оригинальность текста. Описание литературы соответствует требованиям соответствующего национального стандарта. В списке приведены и собственные публикации.

Список сокращений содержит все достаточно многочисленные сокращения, использованные в тексте диссертации. При этом следует отметить, что автор не злоупотреблял сокращениями, при первом или достаточно долгом неиспользовании по тексту сокращений давал их расшифровку.

В двух **приложениях** к диссертации приведены справки о внедрении результатов исследований компаний «Рослокомотив» и «ЛокоТех», в сотрудничестве и в значительной степени по заказу которых выполнялась оппонирующая научно-практическая работа

Таким образом, по содержанию диссертации можно говорить о её оригинальности, научности, целостности и завершённости. В диссертации последовательно и с различных аспектов, каждому из которых соответствует свой раздел, раскрыта тема исследования, решены поставленные задачи, получены новые научные данные.

Диссертация написана автором самостоятельно как квалификационная работа, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

Безусловно положительно оценивая научную работу А.П.Семенова, следует сделать следующие замечания по ее содержанию.

1. В разделе 2 при оценке эффективности использования локомотивов в ОАО «РЖД» в качестве полезного состояния взято состояние АСОУП с кодом 1 «Тяга в голове поезда», однако в этом состоянии локомотив может достаточно долго простаивать на станции в ожидании открытия выходного светофора и не совершать полезной работы.
2. В разделе 2 при анализе надёжности оборудования локомотивов нет анализа причин возникновения этих отказов по вине эксплуатирующей или сервисной организаций, производителей или конструкторов. Это в свою очередь, может влиять на необходимость применения систем диагностирования.
3. В разделе 3 при анализе информационной эффективности систем диагностирования нет анализа, как разработчик оборудования должен учитывать эту информацию при разработке технологии технического обслуживания и ремонта этого оборудования в условиях ремонтного депо.
4. В разделе 4 при рассмотрении технико-экономической целесообразности применения различных систем диагностирования определен эффект от сокращения эксплуатируемого парка и сокращения закупки подвижного состава. Однако не учтено, что парк уже закуплен и достаточно длительное время может отсутствовать необходимость в его закупке.
5. В разделе 4 не рассмотрен эффект от систем технического диагностирования на энергоэффективность тяги поездов, а также на пропускную способность полигонов. При переходе на интервальное движение неисправность бортовых систем управления может существенно снижать интенсивность движения.
6. В разделе 5 не рассмотрено влияние предиктивного ремонта на продолжительность ТОиР при переходе на крупно-агрегатный способ ремонта, как это, например, сделано на скоростных поездах ICE компании Сименс и его российском аналоге – поезде Сапсан в депо «Металлострой».
7. В разделе 6 не рассмотрено влияние предлагаемых киберфизических производственных систем (включая универсальную ремонтную позицию) на энергоэффективность предприятий, состояние охраны и условий труда, а

также на требования к квалификации ремонтного и обслуживающего персонала.

8. В разделе 7 нет описания эффекта новой технологии ТОиР на собственно перевозочный процесс.

Указанные замечания не влияют на научную и практическую значимость полученных А.П.Семеновым результатов и не снижают ее общей положительной оценки, а в большей степени направлены на повышение качества и эффективности дальнейших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведённый выше анализ оппонируемой диссертации «Разработка модели управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования» свидетельствует об актуальности, оригинальности, научной новизне и значимости выполненной автором - Семеновым Александром Павловичем работы. Внедрение результатов исследования автора вносит значительный вклад в развитие железнодорожного транспорта Российской Федерации и развитие промышленности страны в целом.

Диссертационная работа соответствует научной специальности 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» и соответствует пунктам паспорта специальности: п. 1 «Эксплуатационные характеристики и параметры подвижного состава, повышение их эксплуатационной надежности и работоспособности. Системы электроснабжения железных дорог и метрополитенов. Методы и средства снижения потерь электроэнергии»; п. 2 «Системы технического обслуживания, эксплуатации и технологии ремонта устройств электроснабжения и подвижного состава, развитие парков локомотивов и вагонов»; п. 3 «Техническая диагностика подвижного состава и систем электроснабжения. Критерии оценки состояния подвижного состава и систем электроснабжения железных дорог и метрополитенов. Системы автоматизации процессов технической диагностики этих объектов».

Предложенные в диссертационной работе А.П.Семеновым модели, методы, алгоритмы и методики имеют научную новизну, теоретическую и практическую ценность, широко апробированы, имеют значение для развития отрасли знаний в области железнодорожного транспорта в целом и локомотиворемонтного комплекса в частности.

Диссертация Семенова Александра Павловича «Разработка модели управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных

методов технического диагностирования» соответствует критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени доктора наук, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции от 01 ноября 2018 г., с изменениями от 26 мая 2020 г.), предъявляемым на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Семенов Александр Павлович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация».

Официальный оппонент, гражданин Российской Федерации, руководитель центра исследований и подготовки комплексных научных проектов акционерного общества «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», доктор технических наук по специальности 05.22.01 «Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте», профессор



Н.Г. Шабалин

Н.Г. Шабалин

2. Москва, Нижегородская ул., д. 27, стр. 1.

Телефон: +7 (485) 473-90-62

адрес электронной почты: n.shabalin@vniias.ru

« 14 » декабря 2021 года

Подпись Шабалина Николая Григорьевича заверяю:



НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА
УЧЕТА
И. А. СЛАВУНОВА
4 ДЕК 2021

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук,
профессора Буйносова Александра Петровича
на диссертацию Семенова Александра Павловича
«Разработка модели управления жизненным циклом локомотивов с
использованием современных методов технического диагностирования»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация»

1. Оценка содержания диссертационной работы

На отзыв представлены: диссертация в форме рукописи объемом 379 страниц текста, включая 60 таблиц, 128 рисунков, автореферат диссертации, основные работы, опубликованные по теме диссертации.

Диссертационная работа А. П. Семенова выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ), РУТ (МИИТ)) и посвящена актуальной проблеме – повышение надежности и эффективности эксплуатации локомотивов путем совершенствования системы технического обслуживания и ремонта локомотивов за счет комплексного использования современных автоматизированных систем диагностирования их оборудования и перехода на модель управления их жизненным циклом.

Во введении отражено обоснование актуальности темы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, изложены содержание работы и методы исследования.

В первом разделе выполнен комплексный анализ мирового и отечественного опыта в области эксплуатации, технического обслуживания и ремонта, применения средств технического диагностирования. В разделе описан и собственный опыт автора в разработке систем диагностирования и ТОиР. Особый интерес представляет описание отечественного опыта, т.к. он учитывает специфику организации работ в ОАО «РЖД». Также представляет интерес

критический анализ автора терминологии национальных стандартов по надежности и технической диагностике. Не менее важен вывод автора о необходимости сохранить плано-предупредительную систему ремонта, дополнив ее элементами предиктивного ремонта. По сути первый раздел является аналитическим литературным обзором, выполненным на высоком профессиональном уровне. В заключении раздела автор обосновывает задачи исследования и формулирует их.

Второй раздел посвящен факторному анализу эффективности эксплуатации локомотивов, для чего предложен достаточно оригинальный подход анализа по нахождению локомотива в состоянии «В голове поезда» согласно классификатору информационной системы АСОУП ОАО «РЖД», для чего введен коэффициент полезной работы. Для анализа авторам скачана из АСОУП информация о работе локомотивов за 400 дней: по 40 локомотивов по каждой из 12 наиболее массовых серий тепловозов и электровозов. Такой объем исходных данных позволяет оценивать результаты исследования как высоко достоверные. Дополнительная достоверность результатам исследования придает предложенная автором проверка полученных результатов на унимодальность через проверку на соответствие одному из законов распределения случайной величины по критерию согласия Колмогорова-Смирнова. Метод реализован в виде программы на алгоритмическом языке VBA в среде Excel. На программу получено свидетельство. Полученные в результат данные обладают научной новизной. Интересен подход автора к определению практически достижимых показателей эффективности эксплуатации через лучшие параметры одного из 40 локомотивов каждой серии по результатам их эксплуатации за год. В результате сделан вывод о теоретически достижимых показателях эксплуатации локомотивов. В конце раздела сделан вывод, что, не смотря на главные потери полезного времени при управлении процессами перевозок, система ТОиР также оказывает существенное влияние, поэтому задача совершенствования системы ТОиР актуальна.

Третий раздел посвящен теоретическому осмыслению информативности систем технического диагностирования. Автор с позиций теории познания показал ограниченность информативности систем диагностирования, предложил коэффициент информативности как отношение информативности диагностики к общей энтропии объекта диагностирования. Бесконечность возможных технических состояний локомотива предложил ограничить через вероятность

появления отказа по данным эксплуатации. В результате в основу взята формула Шеннона, которая доработана с учетом стоимости ремонта различных видов оборудования. Такой оригинальный подход позволил оценить информативность различных систем диагностирования. Сделан вывод об ограниченности возможностей даже перспективных бортовых систем технического диагностирования. Третий раздел следует считать самым теоретически насыщенным и обладающим научной новизной.

Четвертый раздел рассматривает экономический аспект внедрения систем диагностирования. Показано, что внедрении всех доступных систем диагностирования экономически нецелесообразно. На основании выполненного анализа источников эффективности и источников затрат систем диагностики разработан метод моделирования эффективности систем диагностики, написана соответствующая программа, на которую получено свидетельство. Выполнено моделирование эффективности основных систем диагностирования. Получен достаточно неожиданный результат, что системы диагностики окупаются в основном за счет сокращения парка локомотивов. Этот и ряд других выводов обладают научной новизной.

Пятый раздел рассматривает еще один аспект новой технологии ТОиР. Предиктивный ремонт с индивидуальным объемом ТОиР для каждой секции локомотива по данным систем диагностирования фактически разрушает существующую систему ТОиР с нормированным временем простоя в локомотивном депо, когда точно известно время выхода локомотива с ТОиР, что позволяло заранее спланировать подвязку локомотива под поезд. Автором предложен оригинальный вероятностно статистический метод прогнозирования времени выхода локомотива с ТОиР. На имитационную программу получено свидетельство. Предлагаемый метод в значительной мере позволяет преодолеть главный недостаток предиктивной системы ТОиР.

Шестой раздел подводит итог выполненным в предыдущих разделах исследованиям. Дополнительно рассмотрены типовые подходы к организации производственных процессов с позиций киберфизических производственных систем, Lean Production, Toyota Production System, TQM, ITIL, систем менеджмента качества, Пирамид Гейнриха и других лучших практик (Best practices). Также учтены требования цифровых технологий, включая методы четвертой промышленной революции. По каждой методологии дано описание специфики ее применения в условиях ремонтного локомотивного депо. В

результате описана предлагаемая технологическая модель ТОиР, являющаяся результатом всех выполненных научных исследований. Основа модели – универсальная технологическая ремонтная позиция (канавка).

Седьмой раздел существенно отличается от всех предыдущих и посвящен практическому внедрению результатов исследований в сервисном локомотивном депо «Братское» на территории станции Вихоревка Восточно-Сибирской железной дороги ОАО «РЖД». Приведена методика практической реализации модели, описанной в разделе шесть, показаны полученные эффекты. Глава является основным доказательством эффективности предложенных автором теоретических и научно-практических подходов.

В заключении сформулированы полученные в результате научно-практических исследований выводы и предложения по дальнейшим работам.

В приложениях приведены фотокопии документов о внедрении результатов исследований от АО «Трансмашхолдинг» и ООО «ЛокоТех».

Диссертация соответствует научной специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация». Диссертация написана грамотным языком, изложение логично и последовательно с использованием профессиональной терминологической лексики, эмоционально окрашенные слова отсутствуют. Архитектоника правильная. Содержание диссертации соответствует поставленным целям и задачам исследования.

Диссертация по структуре и оформлению соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11–2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Оформление списка литературы в виде библиографических ссылок соответствует п. 5.6 ГОСТ Р 7.0.11–2011. В тексте имеются ссылки на первоисточники.

По содержанию диссертации сложилось впечатление ее целостности и завершенности. Текст диссертации представляет собой логично изложенное произведение, в котором последовательно выполнен анализ текущего состояния выбранного научного направления, поставлены задачи исследования, разработаны методы их решения, достигнуты новые научно-обоснованные методические и технологические решения, получены важные практические результаты, сделано общее заключение по работе.

2. Объем и структура диссертации

Диссертация включает в себя введение, семь разделов, заключение с изложением основных результатов и выводов, библиографический список из 300 наименований и одно приложение. Основное содержание диссертации изложено на 374 страницах машинописного текста, в том числе 128 рисунков и 60 таблиц. Общий объем работы составляет 379 страниц.

Объектом исследования в диссертации является тяговый подвижной состав железных дорог, система управления жизненным циклом локомотивов, система технического обслуживания и ремонта локомотивов с использованием автоматизированных систем технического диагностирования оборудования локомотивов.

Предметом исследований являются научно обоснованная модель управления жизненным циклом локомотивов при их ремонта и ТО с использованием систем диагностирования, которая должна быть положена в основу управления надежностью современных отечественных локомотивов. В рамках предмета исследований предлагаются новые научно-обоснованные теоретические положения, методы, алгоритмы и математические модели, обеспечивающие повышение надежности и эффективности эксплуатации тягового подвижного состава через совершенствование системы ремонта и ТО.

Целью диссертации является повышение надежности и эффективности эксплуатации тягового подвижного состава через совершенствование системы ТОиР за счет перехода на модель управления жизненным циклом локомотива (ЖЦЛ) с комплексным использованием современных автоматизированных систем технического диагностирования (АСТД) (далее – Модель ЖЦЛ).

Для достижения цели в диссертации автором решены следующие задачи:

1) анализ мировых и отечественных опыта и тенденций развития систем управления жизненным циклом локомотивов, их систем технического обслуживания и ремонтов и систем технического диагностирования;

2) вероятностно-статистический анализ надежности отечественных локомотивов, условий их эксплуатации и эффективности систем технического обслуживания и ремонта;

3) анализ используемых показателей надежности, разработка методов расчета перспективных показателей в условиях современного управления жизненным циклом локомотива;

4) теоретический анализ функциональности современных систем технического диагностирования с позиций теории познания (гносеологии), информатики, теории автоматического управления для определения требований к системам технического диагностирования;

5) обоснование технико-экономической целесообразности практического использования различных видов систем диагностирования на этапе эксплуатации локомотивов;

6) разработка системы поддержки принятия решений в модели жизненного цикла локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования;

7) разработка технологической модели управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования как киберфизической производственной системы на основании выполненного в диссертации анализа мировых и отечественных тенденций развития систем управления жизненным циклом локомотивов, надежности отечественных локомотивов, технико-экономической целесообразности применения систем технического диагностирования;

8) разработка методики практической реализации модели и ее апробация в сервисном ремонтном локомотивном депо.

3. Актуальность темы диссертации

Актуальность темы, выбранной диссертантом не вызывает сомнений.

Технико-экономические показатели железнодорожного транспорта в значительной мере определяются конструктивными параметрами, надежностью и эффективностью использования подвижного состава. Расходы на эксплуатацию и содержание подвижного состава составляют более половины совокупных затрат отрасли, из них около 20 % приходится на ремонт и техническое обслуживание (ТО). Техническое состояние подвижного состава остается доминирующим фактором безопасности движения. Свыше 70 % браков в поездной работе и отказов технических средств связано с неисправностями

локомотивов, в том числе более 60 % – по причине низкого качества ремонта и ТО.

Железнодорожный транспорт с момента своего появления во времена первой промышленной революции играл и играет важную роль в развитии всех ведущих стран мира, включая Россию. Поэтому развитие отечественного железнодорожного транспорта опережающими темпами предусмотрено долгосрочной программой развития ОАО «РЖД» до 2025 года. Программа включает и развитие локомотивного комплекса, предусматривает рост надежности локомотивов, сокращение расходов на тягу поездов. Не маловажную роль должно сыграть повышение эффективности системы технического обслуживания и ремонта локомотивов.

Переход на ремонт и ТО по контракту жизненного цикла, развитие информационных технологий, бортовых локомотивных микропроцессорных систем управления, компьютеризированных систем технического диагностирования – эти и другие факторы делают тему диссертации А. П. Семенова актуальной.

Актуальность цели и поставленных задач исследований подтверждается результатами проведенного автором анализа публикаций по данной тематике.

На основании изложенного следует, что диссертационная работа Семенова Александра Павловича «Разработка модели управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования», выполнена на актуальную тему, представляет научный и практический интерес.

4. Научные положения диссертации, их новизна и достоверность

В диссертационном исследовании изложены новые научно-обоснованные теоретические положения, методы, алгоритмы и математические модели, обеспечивающие развитие научных основ управления надежностью через разработку модели управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования.

Формулировки основных научных положений содержат отличительные части, что позволяет достоверно оценить степень их новизны:

1) разработана технологическая модель управления жизненным циклом локомотивов с использованием автоматизированных систем технического диагностирования при их техническом обслуживании и ремонте;

2) на основании вероятностно-статистического анализа данных об эксплуатации локомотивов с применением разработанного метода и методики обоснована степень влияния надежности локомотивов и их системы ТОиР на эффективность эксплуатации локомотивов;

3) разработан метод расчета вероятности наступления отказов локомотивов согласно их категориям по статистическим данным об эксплуатации локомотивов и заданным согласно стандартам показателям надежности оборудования локомотивов;

4) разработан метод анализа информационной эффективности систем технического диагностирования с использованием математического аппарата теории информации;

5) разработан метод определения технико-экономической целесообразности применения различных систем технического диагностирования оборудования локомотивов;

6) разработан метод прогнозирования продолжительности технического обслуживания и ремонта с определением индивидуального объема ремонта по данным систем диагностирования путем имитационного моделирования с использованием динамически изменяющейся статистики продолжительности выполнения предыдущих систем ремонта и ТО.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформированные в диссертации, обоснованы. Решение поставленных в диссертации задач строится на основе методов теории вероятности, теории статистики и теории надежности, методы теории информации и информационных систем, методы теории автоматического управления, методы расчета окупаемости инновационных проектов и методы имитационного моделирования технологических процессов применительно к условиям локомотивных депо, методы расчета окупаемости инновационных проектов и методы имитационного моделирования, метод «Цифровой двойник», технологические методы «Киберфизические производственные системы», «Lean Production» и «Toyota Production System», методы систем менеджмента качества и сервисного обслуживания.

Имитационное моделирование производилось с использованием специально разработанных автором программы на алгоритмическом языке Visual Basic for Applications (VBA) в среде MS Excel.

Степень достоверности научных результатов диссертации обеспечена:

- 1) их сравнением с мировыми трендами;
- 2) вероятностно-статистическим анализом параметров эксплуатации и обслуживания отечественных локомотивов;
- 3) анализом физических процессов оборудования локомотивов;
- 4) проверкой на практике основных теоретических положений;
- 5) практической реализацией в сервисном локомотивном депо «Братское» на Восточном полигоне ОАО «РЖД» предложенной модели.

Достоверность научных положений и результатов диссертационной работы подтверждена актами внедрения на производстве.

5. Методология и методы исследования

Методология и методы исследования заключаются в следующем:

- 1) при анализе мировых трендов развития локомотивных комплексов и во всех остальных разделах в качестве базовой использована теория локомотивной тяги;
- 2) при анализе надежности локомотивов применены математические методы теории вероятности, теории статистики и теории надежности, с помощью которых обработаны большие массивы данных об эксплуатации локомотивов;
- 3) при анализе возможностей современных автоматизированных систем технического диагностирования и возможности их реализации использованы методы теории информации и информационных систем, методы теории автоматического управления;
- 4) при разработке метода технико-экономической оценки эффективности систем диагностирования использованы принятые методы расчета окупаемости инновационных проектов и методы имитационного моделирования технологических процессов применительно к условиям локомотивных депо;

5) при разработке системы поддержки принятия решений системы технического обслуживания и ремонта с использованием систем диагностирования использованы методы «Цифровой двойник» и вероятностно-статистические методы;

6) при разработке модели жизненного цикла с использованием систем диагностирования применены технологические методы «Киберфизические производственные системы», «Lean Production» и «Toyota Production System», методы систем менеджмента качества и сервисного обслуживания.

7) при обработке статистики и имитационном моделировании использованы специально разработанные автором программы на алгоритмическом языке Visual Basic for Applications (VBA) в среде MS Excel.

8) При практической реализации модели использованы принципы и методические подходы, разработанные в процессе работы автора над диссертацией.

6. Теоретическая и практическая значимость исследования и полученных результатов

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в том, что::

1) разработан метод факторного анализа эффективности эксплуатации локомотивного парка;

2) разработан метод анализа информационной эффективности систем технического диагностирования;

3) разработан метод технико-экономического обоснования целесообразности применения различных систем технического диагностирования оборудования локомотивов;

4) разработан метод прогнозирования продолжительности ТОиР при индивидуальном планировании объема ремонта по данным систем диагностирования;

5) разработана модель управления жизненным циклом локомотивов с использованием автоматизированных систем технического диагностирования при их техническом обслуживании и ремонте (ТОиР).

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в следующем:

1) метод вероятностно-статистического анализа данных об эксплуатации локомотивов на основании коэффициента полезной работы может использоваться для оперативного контроля эффективности использования локомотивного парка в подразделениях ОАО «РЖД»;

2) использование методов анализа информационной эффективности систем технического диагностирования на основе коэффициента информативности АСТД и определения технико-экономической целесообразности применения различных систем технического диагностирования оборудования локомотивов на основе имитационного моделирования позволяет оптимизировать перечень технических средств диагностирования и требования к ним для конкретных условий эксплуатации обслуживаемого парка локомотивов, степени его износа и возможностей сервисного предприятия;

3) метод прогнозирования продолжительности ТОиР с АСТД на основе имитационного моделирования технологического процесса ремонта для каждого локомотива является эффективным инструментом оперативного формирования и коррекции графика подвязки локомотивов под поезда после выполнения ТОиР;

4) метод расчета вероятности наступления отказов локомотивов согласно их категориям по статистическим данным об эксплуатации локомотивов и заданным согласно ГОСТ показателям надежности оборудования локомотивов позволяет осуществлять оперативное планирование работы предприятий ТОиР с учетом конкретных условий эксплуатации обслуживаемого локомотивного парка.

7. Соответствие диссертации паспорту научной специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»

В результате выполненных исследований решена комплексная научно-техническая задача создания совокупности методов, математических моделей и технических средств, обеспечивающих повышение эффективности ремонтного производства и ТО подвижного состава за счет оптимизации производственных процессов предприятия от момента проектного замысла до принятия решения о необходимости модернизации и реконструкции. Таким образом, диссертация

соответствует паспорту научной специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация по пунктам:

п. 1: *Эксплуатационные характеристики и параметры подвижного состава, повышение их эксплуатационной надежности и работоспособности. Системы электроснабжения железных дорог и метрополитенов. Методы и средства снижения потерь электроэнергии.*

п. 2: *Системы технического обслуживания, эксплуатации и технологии ремонта устройств электроснабжения и подвижного состава, развитие парков локомотивов и вагонов.*

п. 3: *Техническая диагностика подвижного состава и систем электроснабжения. Критерии оценки состояния подвижного состава и систем электроснабжения железных дорог и метрополитенов. Системы автоматизации процессов технической диагностики этих объектов.*

Исследование соответствует формуле специальности – направлено на разработку проблем качества подвижного состава, ремонта и технического обслуживания. Объектами являются локомотивы, технологии ремонта и технического обслуживания. Исследования направлены на повышение надежности и качества подвижного состава;

8. Апробация работы

Основные результаты научного исследования доложены, обсуждены и одобрены на 15-и научно-практических международных (МНПК) и всероссийских (ВНПК) конференциях: 3-я МНПК Юго-Западного федерального университета (г. Курск, 2012), МНПК «Эксплуатационная надежность подвижного состава» (НИИТКД, г. Омск, 2013), МНПК «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты» (ПГУПС, Санкт-Петербург, 2015, 2019, 2020), 3-я МНПК «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава» (ОмГУПС, г. Омск, 2015), 1-я, 2-я и 3-я МНПК «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов» (МИИТ, ЛокоТех, г. Москва, 2014, 2015, 2018); 10-я МНПК «Транспортная инфраструктура сибирского региона» (ИрГУПС, г. Иркутск, 2019), МНПК «Инновационные технологии развития транспортной отрасли» (ДВГУПС, г. Хабаровск, 2019), ВНПК, посвященная 125-летию железнодорожного образования в Сибири (КриЖТ ИрГУПС, г. Красноярск,

2019), МНПК «Эксплуатация и техническое обслуживание электронного и микропроцессорного оборудования тягового подвижного состава» (ДЦВ Красноярской ж.д., КРИЖТ, г. Красноярск, 2020), 4-я МНПК «Разработка и эксплуатация электротехнических комплексов и систем энергетики и наземного транспорта» (ОмГУПС, г. Омск, 2020), 24-я ВНПК «Инновационные технологии на железнодорожном транспорте», (КрИЖТ ИрГУПС, г. Красноярск, 2020), что подтверждает широкую апробацию результатов диссертации.

Диссертация доложена и одобрена на заседании кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ), 2020, 2021).

9. Публикации

Основные положения диссертации и полученные результаты опубликованы в двух научных монографиях (одна из них с единственным автором) и в 64-х научных работах, из них 12 статей в рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (в журналах «Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника», «Известия Транссиба», «Железнодорожный транспорт», «Мир транспорта», «Современные технологии. Системный анализ. Моделирование», «Вестник Уральского государственного университета путей сообщения»), 4 патента, 17 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ, 29 статей в отраслевых журналах и трудах конференций, 2 научные монографии, одна из которых без соавторов.

10. Ссылки на авторов и источники, откуда заимствован материал или отдельные результаты

При использовании материалов и отдельных результатов в работе имеются соответствующие ссылки на авторов и источники.

11. Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом

Диссертация написана грамотным языком, изложение логично и последовательно с использованием профессиональной терминологической лексики, эмоционально окрашенные слова отсутствуют. Архитектоника правильная. Содержание диссертации соответствует поставленным целям и задачам исследования.

Диссертация по структуре и оформлению соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11–2011. Оформление списка литературы в виде библиографических ссылок соответствует п. 5.6 ГОСТ Р 7.0.11–2011.

Диссертация является завершенной работой.

12. Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, отражает ее структуру и положения, выносимые на защиту. Автореферат по структуре и оформлению соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11–2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Оформление в автореферате списка работ, опубликованных по теме соответствует п. 9.3 ГОСТ Р 7.0.11–2011.

13. Личный вклад автора

Все результаты, изложенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно, а именно:

– выполнен анализ мировых и отечественных опыта и тенденций развития систем управления жизненным циклом локомотивов, их систем технического обслуживания и ремонтов и систем технического диагностирования;

– проведен вероятностно-статистический анализ надежности отечественных локомотивов, условий их эксплуатации и эффективности систем технического обслуживания и ремонта;

– выполнен анализ используемых показателей надежности, разработка методов расчета перспективных показателей в условиях современного управления жизненным циклом локомотива;

– предложен теоретический анализ функциональности современных систем технического диагностирования с позиций теории познания (гносеологии), информатики, теории автоматического управления для определения требований к системам технического диагностирования;

– выполнено обоснование технико-экономической целесообразности практического использования различных видов систем диагностирования на этапе эксплуатации локомотивов;

– разработана система поддержки принятия решений в модели жизненного цикла локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования;

– разработана технологическая модель управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования как киберфизической производственной системы на основании выполненного в диссертации анализа мировых и отечественных тенденций развития систем управления жизненным циклом локомотивов, надежности отечественных локомотивов, технико-экономической целесообразности применения систем технического диагностирования;

– разработана новая методика практической реализации модели и ее апробация в сервисном ремонтном локомотивном депо.

14. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

*Оценка диссертации в соответствии с требованиями п. 10–14 Положения
о присуждении ученых степеней*

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

В диссертации приводятся сведения о практическом использовании автором научных результатов, подтвержденные актами внедрения.

Предложенные автором новые научно-обоснованные решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

По материалам диссертации опубликованы 12 статей в рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, получены 4 патента и 17 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ, 29 статей в отраслевых журналах и трудах конференций, 2 научные монографии (одна из которых без соавторов). Отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

В диссертации имеются ссылки на авторов, источники заимствования материалов и отдельных результатов. В диссертации соискателем отмечается использование результатов научных работ, выполненных в соавторстве, имеются ссылки на соавторов.

Оценка диссертации в соответствии с требованиями п. 9 Положения о присуждении ученых степеней

Диссертация Семенова Александра Павловича на соискание ученой степени доктора технических наук является научно-квалификационной работой, в которой, на основании выполненных автором исследований, изложены новые научно обоснованные методологические и технологические решения, математические модели и алгоритмы, обеспечивающие повышение надежности эффективности технологических систем ремонтного производства и технического обслуживания подвижного состава за счет их многоуровневой оптимизации в процессе создания, функционирования и модернизации, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Полученные результаты содержат научную новизну и полностью отражены в публикациях. Полученные автором результаты прошли необходимую апробацию.

Замечания по диссертационной работе

Положительно оценивая диссертационную работу Семенова Александра Павловича, следует сделать следующие замечания по ее содержанию:

1) в диссертации обоснована модель управления жизненным типом локомотивов, но не описана специфика ТОиР именно этого типа подвижного состава железных дорог. При этом в литературном обзоре приводятся примеры систем ТОиР электропоездов;

2) во втором разделе нет обоснования выбора 12 серий локомотивов. Рассмотрены «старые» серии типа «ВЛ», «ТЭ10», но не рассмотрены достаточно массовые серии ЧС, М62, 2ТЭ116. Новые серии взяты только производства АО «Трансмашхолдинг» и не рассмотрены локомотивы производства ООО «Уральские локомотивы»;

3) во втором разделе существенная часть расчетных данных имеет вероятность соответствия законам распределения случайной величины меньше 0,1, что, согласно подходам самого автора, свидетельствует об их мульти модальности. В диссертации нет рекомендаций по дальнейшей детализации данных с целью добиться из унимодальности, и, как следствие, большей достоверности;

4) в третьем разделе предложенная автором формула информативности систем диагностирования не учитывает риски возможных крушений и сходов при появлении ошибок первого рода;

5) в четвертом разделе модель системы технического обслуживания и ремонта локомотивов и их оборудования рассмотрена с позиций оптимизации технологических процессов ТОиР, эффективности управления надежностью. При этом не учтен фактор безопасности движения: диагностирование колесных пар, опорно-осевых и моторно-якорных подшипников необходимо для предотвращения возможных событий нарушения безопасности – крушений и сходов;

6) предложенная в шестом разделе модель ТОиР предполагает капитальное переустройство депо, что подтверждено материалами седьмого раздела. В диссертации нет технико-экономического обоснования перевода всех уже существующих ремонтных локомотивных депо на предлагаемую модель ТОиР;

7) имеются замечания редакционного характера. Например, с. 24, последний абзац, 1-е предложение – пропущена буква в слове «России»; с. 54,

9-я строка – пропущено «эксплуатационное локомотивное» (ТЧЭ-10 Западно-Сибирской дирекции тяги или «сервисное локомотивное» депо Карасук филиала Западно-Сибирский ООО «ЛокоТех-Сервис»); с. 55, в перечислении под цифрой «1» в слове «статистике» пропущена буква и др.;

8) в тексте диссертационной работы имеют место не всегда корректное использование терминов, стилистические неточности и пр., но количество их можно считать незначительным;

9) некоторые выводы в заключении диссертации носят описательный, декларативный характер, характер аннотации, а хотелось бы видеть выводы с конкретными рекомендациями, непосредственно вытекающими из огромной многолетней проделанной работы.

Указанные замечания не влияют на научную и практическую значимость полученных А. П. Семеновым результатов и не снижают ее общей положительной оценки, а в большей степени направлены на повышение качества и эффективности дальнейших исследований, а также организации дискуссии при защите.

Заключение

Проведенный анализ материалов диссертации указывает, что по актуальности, содержанию и значимости основных результатов, диссертация Семенова Александра Павловича «Разработка модели управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования» по актуальности избранной темы, степени обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций, их достоверности и новизне, практической реализации результатов исследований, а также по содержанию, научному уровню и качеству оформления, является логичной, функционально законченной и самостоятельной научно-квалификационной работой, которая выполнена на достаточно высоком уровне, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие железнодорожного транспорта Российской Федерации, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Диссертационная работа соответствует научной специальности 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» и

соответствует пунктам паспорта специальности: п. 1 «Эксплуатационные характеристики и параметры подвижного состава, повышение их эксплуатационной надежности и работоспособности. Системы электроснабжения железных дорог и метрополитенов. Методы и средства снижения потерь электроэнергии»; п. 2 «Системы технического обслуживания, эксплуатации и технологии ремонта устройств электроснабжения и подвижного состава, развитие парков локомотивов и вагонов»; п. 3 «Техническая диагностика подвижного состава и систем электроснабжения. Критерии оценки состояния подвижного состава и систем электроснабжения железных дорог и метрополитенов. Системы автоматизации процессов технической диагностики этих объектов».

Диссертация содержит список работ, опубликованных автором по теме диссертации, в тексте приведены ссылки. В диссертации отмечены результаты научных работ, выполненных соискателем лично, а также в соавторстве. При заимствовании материалов или отдельных результатов имеются ссылки на авторов или документы, из которых взяты данные заимствования. Список использованных источников включает 401 наименование.

Основные положения диссертационного исследования достаточно полно отражены в 64-х публикациях автора, в том числе 12 – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, автором получены 4 патента и 17 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ, 29 статей в отраслевых журналах и трудах всероссийских и международных конференций, 2 научные монографии (одна из которых без соавторов).

Предложенные в диссертационной работе Семеновым А. П. модели, методы, алгоритмы и методики имеют научную новизну, теоретическую и практическую ценность, широко апробированы.

Результаты, полученные автором, обладают научной новизной, имеют значение для развития отрасли знаний в области железнодорожного транспорта.

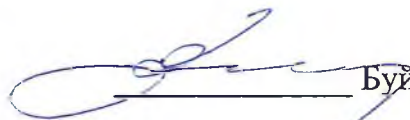
Автореферат и публикации соискателя, в том числе двенадцать – в изданиях, рекомендованных ВАК, – полностью отражают основные положения и результаты диссертационной работы.

Отмеченные недостатки несколько снижают качество оформления результатов исследования, но они не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации и в целом не меняют общего положительного впечатления о выполненной диссертационной работе.

Таким образом, можно сделать вывод, что диссертационная работа Семенова Александра Павловича «Разработка модели управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования» соответствует критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени доктора наук, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции от 01 ноября 2018 г., с изменениями от 26 мая 2020 г.), предъявляемым на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Семенов Александр Павлович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация».

Официальный оппонент, гражданин Российской Федерации, профессор кафедры «Электрическая тяга» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения», доктор технических наук (отрасль науки – технические), по специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» (диплом: серия ДДН № 020893, приказ от 05.06.2012 г. № 26/НК-1), профессор

«03» декабря 2021 г.

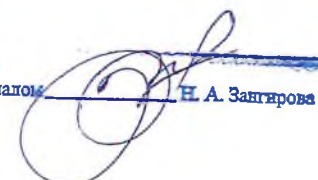


Буйносов Александр Петрович

Почтовый адрес: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66
Электронная почта: abuinosov@usurt.ru, byunosov@mail.ru
Контактные телефоны: (343) 221-24-70, 319-5033

Подпись д.т.н., профессора, профессора
кафедры «Электрическая тяга»

Буйносова Александра Петровича заверяю:



Н. А. Зангарова

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, доцента
ГРАЧЕВА Владимира Васильевича на диссертационную работу

СЕМЕНОВА Александра Павловича

«Разработка модели управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования»,
представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.22.07 - «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»

Согласно Долгосрочной программе развития ОАО «РЖД» до 2025 года планируется существенно повысить эффективность функционирования железнодорожного транспорта РФ. Одним из необходимых условий успешной реализации программы является надежное и эффективное функционирование локомотивного комплекса, неотъемлемой составляющей которого является система сервисного обслуживания локомотивов. Несмотря на вывод локомотиворемонтного комплекса из сферы ответственности ОАО РЖД, эффективность его функционирования во многом определяет как численность, так и показатели использования локомотивного парка ОАО РЖД, в связи с чем работы, направленные на повышение эффективности локомотивного комплекса, сохраняют свою актуальность для отрасли.

Как в мировой, так и в отечественной практике технического обслуживания и ремонта (ТОиР) подвижного состава имеется устойчивая тенденция к переходу от планово-предупредительной системы к ремонту по фактическому техническому состоянию на базе широкого внедрения бортовых и стационарных средств диагностирования. Наряду с этим локомотивный комплекс отечественного железнодорожного транспорта в настоящее время переходит на техническое обслуживание и ремонт локомотивов по контракту жизненного цикла (КЖЦ), согласно которому производитель (поставщик) тягового подвижного состава обязуется на весь срок эксплуатации локомотивов обеспечивать его исправное техническое состояние согласно техническим условиям на изделие в рамках

жестко установленной стоимости жизненного цикла и с установленной надёжностью. Такой подход к ТОиР существенно отличается от ранее существовавшей бюджетной системы финансирования: теперь сервисная компания получает финансирование не за число и объем выполненных ремонтов, а за полезный пробег локомотива.

Основой технологической модернизации локомотиворемонтного комплекса является широкое внедрение цифровых и информационных технологий как на всех уровнях управления сервисным предприятием, так и на всех стадиях его производственного процесса.

Все эти изменения требуют научного переосмысления существующих подходов к организации ТОиР, сложившихся в середине прошлого века.

В связи с вышеизложенным своевременность и актуальность работы А. П. Семенова не могут вызывать сомнений.

Целью диссертационной работы является повышение надёжности и эффективности эксплуатации тягового подвижного состава через совершенствование системы ТОиР за счёт перехода на модель управления жизненным циклом локомотива (ЖЦЛ) с комплексным использованием современных автоматизированных систем технического диагностирования (АСТД) (далее - Модель ЖЦЛ).

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи.

1. Анализ мировых и отечественных опыта и тенденций развития систем управления жизненным циклом локомотивов, их систем технического обслуживания и ремонтов и систем технического диагностирования.
2. Вероятностно-статистический анализ надёжности отечественных локомотивов, условий их эксплуатации и эффективности систем технического обслуживания и ремонта.
3. Анализ используемых показателей надёжности, разработка методов расчёта перспективных показателей в условиях современного управления жизненным циклом локомотива.
4. Теоретический анализ функциональности современных систем технического диагностирования с позиций теории познания (гносеологии), информатики,

теории автоматического управления для определения требований к системам технического диагностирования.

5. Обоснование технико-экономической целесообразности практического использования различных видов систем диагностирования на этапе эксплуатации локомотивов.
6. Разработка системы поддержки принятия решений в модели жизненного цикла локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования.
7. Разработка технологической модели управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования как киберфизической производственной системы на основании выполненного в диссертации анализа мировых и отечественных тенденций развития систем управления жизненным циклом локомотивов, надёжности отечественных локомотивов, технико-экономической целесообразности применения систем технического диагностирования;
8. Разработка методики практической реализации Модели и её апробация в сервисном ремонтном локомотивном депо.

Научная новизна диссертации заключается в следующем.

1. Разработана технологическая модель управления жизненным циклом локомотивов с использованием автоматизированных систем технического диагностирования при их техническом обслуживании и ремонте.
2. На основании вероятностно-статистического анализа данных об эксплуатации локомотивов с применением разработанного метода и методики обоснована степень влияния надёжности локомотивов и их системы ТОиР на эффективность эксплуатации локомотивов.
3. Разработан метод расчёта вероятности наступления отказов локомотивов согласно их категориям по статистическим данным об эксплуатации локомотивов и заданным согласно стандартам показателям надёжности оборудования локомотивов.
4. Разработан метод анализа информационной эффективности систем технического диагностирования с использованием математического аппарата теории информации.

5. Разработан метод определения технико-экономической целесообразности применения различных систем технического диагностирования оборудования локомотивов.
6. Разработан метод прогнозирования продолжительности технического обслуживания и ремонта с определением индивидуального объёма ремонта по данным систем диагностирования путём имитационного моделирования с использованием динамически изменяющейся статистики продолжительности выполнения предыдущих ТОиР.

Методология и методы исследования. При анализе мировых трендов развития локомотивных комплексов и во всех остальных разделах в качестве базовой использована теория локомотивной тяги. При анализе надёжности локомотивов применены математические методы теории вероятности, теории статистики и теории надёжности, с помощью которых обработаны большие массивы данных об эксплуатации локомотивов. При анализе возможностей современных автоматизированных систем технического диагностирования и возможности их реализации использованы методы теории информации и информационных систем, методы теории автоматического управления. При разработке метода технико-экономической оценки эффективности систем диагностирования использованы принятые методы расчёта окупаемости инновационных проектов и методы имитационного моделирования технологических процессов применительно к условиям локомотивных депо. При разработке системы поддержки принятия решений системы технического обслуживания и ремонта с использованием систем диагностирования использованы методы «Цифровой двойник» и вероятностно-статистические методы. При разработке модели жизненного цикла с использованием систем диагностирования применены технологические методы «Киберфизические производственные системы», «Lean Production» и «Toyota Production System», методы систем менеджмента качества и сервисного обслуживания. При обработке статистики и имитационном моделировании использованы специально

разработанные автором программы на алгоритмическом языке Visual Basic for Applications (VBA) в среде MS Excel.

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в разработке новых методов факторного анализа эффективности эксплуатации локомотивного парка, информационной эффективности систем технического диагностирования и технико-экономической целесообразности применения различных систем технического диагностирования оборудования локомотивов, новых методов прогнозирования надежности локомотивов и продолжительности ТОиР, а также технологической модели управления жизненным циклом локомотивов с использованием автоматизированных систем технического диагностирования при их техническом обслуживании и ремонте (ТОиР).

Практическая значимость диссертации заключается в том, что:

1. Метод вероятностно-статистического анализа данных об эксплуатации локомотивов на основании коэффициента полезной работы может использоваться для оперативного контроля эффективности использования локомотивного парка в подразделениях ОАО РЖД.
2. Использование методов анализа информационной эффективности систем технического диагностирования основе коэффициента информативности АСТД и определения технико-экономической целесообразности применения различных систем технического диагностирования оборудования локомотивов на основе имитационного моделирования позволяет оптимизировать перечень технических средств диагностирования и требования к ним для конкретных условий эксплуатации обслуживаемого парка локомотивов, степени его износа и возможностей сервисного предприятия.
3. Метод прогнозирования продолжительности ТОиР с АСТД на основе имитационного моделирования технологического процесса ремонта для каждого локомотива является эффективным инструментом оперативного формирования и коррекции графика подвязки локомотивов под поезда после выполнения ТОиР.
4. Метод расчёта вероятности наступления отказов локомотивов согласно их категориям по статистическим данным об эксплуатации локомотивов и заданным согласно ГОСТ показателям надёжности оборудования локомотивов

позволяет осуществлять оперативное планирование работы предприятий ТООИР с учетом конкретных условий эксплуатации обслуживаемого локомотивного парка.

Соответствие диссертации паспорту специальности ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»: исследование направлено на разработку проблем качества подвижного состава, ремонта и технического обслуживания, объектами являются локомотивы, технологии ремонта и технического обслуживания, исследования направлены на повышение надёжности и качества подвижного состава, что соответствует формуле специальности. Исследование соответствует следующим разделам области исследования:

п.1. Эксплуатационные характеристики и параметры подвижного состава, повышение их эксплуатационной надёжности и работоспособности. Системы электроснабжения железных дорог и метрополитенов. Методы и средства снижения потерь электроэнергии.

п.2. Системы технического обслуживания, эксплуатации и технологии ремонта устройств электроснабжения и подвижного состава, развитие парков локомотивов и вагонов.

п.3. Техническая диагностика подвижного состава и систем электроснабжения. Критерии оценки состояния подвижного состава и систем электроснабжения железных дорог и метрополитенов. Системы автоматизации процессов технической диагностики этих объектов.

Таким образом, диссертационная работа А.П.Семенова полностью соответствует паспорту специальности ВАК 05.22.07 - «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация».

Степень достоверности. Достоверность научных результатов диссертации обеспечена их сравнением с мировыми трендами, вероятностно-статистическим анализом параметров эксплуатации и обслуживания отечественных локомотивов, анализом физических процессов оборудования локомотивов и проверкой на практике основных теоретических положений). Эффективность предложенной Модели подтверждена её практической реализацией в сервисном локомотивном

депо «Братское» ООО «ЛокоТех-Сервис» на Восточном полигоне ОАО «РЖД» в качестве системы управления жизненным циклом электровозов переменного тока производства АО «Трансмашхолдинг».

Основные положения диссертации и полученные результаты опубликованы в двух научных монографиях (одна из них с единственным автором) и в 64-х научных работах, из них 12 статей в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК, 4 патента, 17 свидетельств на программное обеспечение, 29 статей в отраслевых журналах и трудах конференций, 2 научные монографии, одна из которых без соавторов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, семи разделов, заключения, списка использованных сокращений, списка литературы из 401 источника, двух приложений со справками о внедрении результатов исследований, содержит 379 страниц основного текста, включая 60 таблиц и 128 рисунков.

Во введении отражено обоснование актуальности темы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, изложены содержание работы и методы исследования.

В первой главе выполнен анализ как опыта работы отечественного локомотиворемонтного комплекса, так и мировых тенденций развития сервисного обслуживания локомотивов. Показано, что развитие локомотивного и локомотиворемонтного комплексов является одним из основополагающих в развитии отечественного железнодорожного транспорта, а тенденции развития соответствуют мировым тенденциям, в т.ч. в части методов управления качеством, что закреплено в концепции постоянного улучшения качества инновационной деятельности ОАО «РЖД», а также в ряде отраслевых стандартов компании. В результате всестороннего анализа автором сделан ряд выводов, определивших направления дальнейших исследований.

В частности, не смотря на сложившееся у ряда специалистов представление о необходимости и целесообразности скорейшего перехода от планово-предупредительной (ППР) системы ТОиР подвижного состава к обслуживанию его по фактическому техническому состоянию, автор, на основании анализа как

отечественного, так и зарубежного опыта выполнения ТОиР по фактическому состоянию, делает вывод о необходимости использования системы ППР в качестве базовой при разработке технологической модели управления ЖЦЛ.

Необходимо также отметить вывод автора о том, что разрабатываемая модель жизненного цикла и новая перспективная система ТОиР должны соответствовать существующим особенностям построения взаимоотношений ОАО «РЖД», локомотивостроительных заводов, локомотиворемонтного комплекса и сервисных компаний, организующих работу сервисных локомотивных депо согласно контрактам жизненного цикла локомотивов.

Эти два вывода в полной мере характеризует важную особенность подхода автора к решению поставленных в работе задач, которая заключается в максимальном использовании накопленного опыта организации ТОиР и учете как достоинств, так и недостатков существующих систем сервисного обслуживания и эксплуатации локомотивов.

Тем не менее, перспективная система управления жизненным циклом локомотивов должна строиться, по мнению автора, как киберфизическая производственная система с использованием современных технологий.

Выполнен подробный анализ отечественного и мирового опыта применения бортовых и деповских (стационарных) средств диагностирования локомотивов в системе ТОиР, а также их технических возможностей как средств реализации обратной связи по состоянию объекта в замкнутой модели управления ЖЦЛ.

В результате анализа известных математических методов управления ТОиР, основанных на использовании затрат на ТОиР или показателей надежности локомотивов в качестве целевых функций в задачах оптимизации как обслуживания, так и эксплуатации локомотивов, автор приходит к совершенно справедливому выводу об отсутствии у таких задач общего решения и необходимости поиска иных подходов к управлению ТОиР, особенно с учетом современных реалий, связанных с разделением ответственности за техническое состояние локомотива и результаты его эксплуатации.

По результатам выполненного обзора были сформулированы задачи исследования.

Во второй главе работы выполнен факторный анализ потерь времени при эксплуатации и обслуживании локомотивов по специально разработанному алгоритму. Целью анализа является определение степени влияния эффективности организации ТООР на качество эксплуатации локомотивов.

В качестве исходных данных использовались данные системы АСОУП ОАО «РЖД», при этом объем «сырых» данных (табличных записей) превысил 4,8 млн по 40 локомотивам 12 различных серий.

После фильтрации данных по каждому из локомотивов выполнена статистическая проверка выборок на соответствие их нормальному закону распределения каждого из показателей использования, причем для проверки автор использует критерий Колмогорова-Смирнова, позволяющий, в отличие от чаще применяемого критерия Пирсона, уменьшить влияние объема выборки на результат проверки.

В результате по каждой из серий были определены параметры распределения четырех основных показателей использования локомотивов, по которым и выполнялся дальнейший анализ: среднесуточный пробег, а также составляющие бюджета времени, соответствующие состояниям локомотива «в ожидании работы», «в ремонте» и «в голове поезда». Последний показатель автор предлагает именовать «коэффициентом полезной работы» и использовать в качестве интегрального показателя эффективности эксплуатации локомотива. Наличие такого показателя позволяет осуществлять факторный анализ доходности предприятия ТООР, в отличие от коэффициентов технической готовности (КТГ) и готовности к эксплуатации (КГЭ).

Выполненный анализ показал, что именно увеличение коэффициента полезной работы является основным резервом повышения эффективности локомотивного комплекса. Достигнуто оно может быть как за счет сокращения времени ожидания работы, так и за счет сокращения времени нахождения на ТООР, которое для разных серий локомотивов составило от 11% до 40% (в среднем 14,4%).

Однако, как установлено автором, большая часть этого времени (до 50%) приходится на простой в ожидании ремонта, т.е. является следствием плохой

организации эксплуатации. Собственно на выполнение ТОиР в среднем приходится не более 5,2%.

В этой же главе рассмотрены вопросы анализа надежности локомотивов в процессе эксплуатации, при этом предложен метод прогнозирования отказов оборудования по категориям отказов, а также оценки надежности оборудования локомотивов по стоимости сверхцикловых работ, выполняемых на плановых ремонтах, как альтернатива учету количества неплановых ремонтов.

Рассмотрен вопрос учета эксплуатационной работы локомотива как одного из основных факторов, определяющих их надежность. Сделан вывод о необходимости учета нарушений режимов эксплуатации локомотивов, как отдельного фактора, оказывающего значительное влияние на надежность отдельных видов оборудования локомотивов.

Третья глава посвящена анализу функциональности бортовых и стационарных (деповских) систем диагностирования локомотивов. Необходимость такого анализа вытекает из вывода к пункту 2.1, согласно которому внедрение бортовых и стационарных систем диагностирования является одним из основных способов сокращения времени простоя локомотива на ТОиР. Автором впервые предложен метод сравнительной количественной оценки эффективности автоматизированных систем технической диагностики (АСТД), в основу которого положено представление о сложном объекте диагностирования как опыте с числом возможных исходов, равным объему алфавита классов состояния объекта, при этом каждому исходу (отказу) соответствует определенная вероятность. Количество информации, которое несет в себе объект до начала эксплуатации (энтропия ОД), определяется по формуле Шеннона, при этом каждый отказ несет информацию об ОД, равную величине соответствующего слагаемого в формуле Шеннона. Такое же количество информации об объекте доставляет АСТД, выявляющая этот отказ. Для оценки информативной эффективности (информативности) АСТД автор вводит понятие *коэффициента информативности*, определяемого как отношение суммарной информативности АСТД (суммарной информативности выявляемых ею отказов) к энтропии ОД.

Однако, как совершенно справедливо отмечается автором, высокий коэффициент информативности АСТД еще не гарантирует ее высокой эффективности с точки зрения снижения издержек ремонтного предприятия, поскольку информативность отказов, вычисляемая по вероятности их возникновения, никак не связана с затратами предприятия на ликвидацию самих отказов и их последствий. Установить такую связь автор предлагает посредством введения понятия *диагностической вероятности* отказа, вычисляемой как произведение вероятности отказа на относительную стоимость устранения его последствий. Для энтропии ОД, вычисляемой по формуле Шеннона с использованием диагностических вероятностей отказов, предлагается использовать понятие *диагностической энтропии*. Таким образом, коэффициент информативности АСТД, вычисленный с использованием введенных автором понятий, учитывает как вероятность возникновения отказов ОД, так и стоимость устранения их последствий, поэтому является объективной характеристикой эффективности применения АСТД определенного типа на конкретном ремонтном (сервисном) предприятии.

На основе описанного подхода в работе предложена методика анализа эффективности АСТД оборудования локомотива и выполнен анализ эффективности бортовых и стационарных АСТД, получивших наибольшее распространение в системе сервисного обслуживания локомотивов.

В четвертой главе работы предложены метод и методика технико-экономического обоснования применения систем диагностирования, основанные на имитационном моделировании затрат на диагностирование парка локомотивов и получаемых в результате диагностирования эффектов в денежном выражении. В качестве показателя эффективности сервисного обслуживания использовалась чистая приведенная к текущему дню стоимость проекта *NPV (Net Present Value)*, рассчитываемая ежемесячно.

В результате выполненного моделирования установлено, что наибольший эффект от применения АСТД достигается за счет сокращения объема работ и времени на выполнение ТОиР и, как следствие, сокращения потребного парка локомотивов для осуществления перевозочного процесса.

Выполнена сравнительная оценка экономической эффективности применения различных видов АСТД. Дополнительно выполнен факторный анализ эффективности применения АСТД, в результате которого установлено, что эффективность применения АСТД повышается по мере увеличения интенсивности отказов оборудования локомотива и уменьшения его суточного пробега.

Пятая глава диссертации посвящена разработке метода планирования выдачи локомотивов с ТОиР. Необходимость разработки такого метода обусловлена неопределённостью времени выдачи локомотива из ремонта при индивидуальном планировании объёма работ по данным диагностики. Этот аспект проблемы внедрения предиктивных форм технического обслуживания подвижного состава ранее не привлекал внимания специалистов, хотя его значимость, очевидно, будет возрастать по мере увеличения объёма работ, выполняемых по фактическому состоянию оборудования. Автор впервые не только обосновал его актуальность, но предложил эффективный метод решения, основанный на использовании статистического «цифрового двойника» (имитационной модели) процесса ТОиР каждого локомотива. Формируется эта модель на основании линейного графика ремонта локомотива, который составляется на основании его диагностической карты. Выходом модели является распределение вероятности ожидаемого времени ремонта локомотива. После анализа результатов моделирования осуществляется коррекция либо линейного графика ремонта локомотива, либо графика подвязки локомотивов под поезда.

Особенностью «цифрового двойника» ТОиР является его непрерывное самообучение (уточнение распределения времени выполнения отдельных технологических операций) в процессе работы. При этом предусмотрена возможность определения времени выполнения каждой операции без использования закона его распределения с помощью метода «рулетки», в котором площади секторов условного «колеса» соответствуют частотам интервалов времени выполнения операции, рассчитанным по статистическим данным.

В шестой главе приведено описание разработанной концептуальной модели управления жизненным циклом локомотивов с использованием систем

технического диагностирования, объединившей результаты выполненных исследований, описанных в предыдущих главах.

Модель включает в себя все принципы и аппаратно-программные средства, используемые в настоящее время: «Индустрия 4.0» (Интернет вещей, компьютерное зрение, дополненная реальность, RFID и NFC метки для идентификации оборудования, работа с большими данными, облачные технологии и др.), «Бережливое производство», Системы менеджмента качества, библиотеки сервисного обслуживания и другие.

Седьмая глава является заключительной и описывает практическую реализацию разработанной модели управления жизненным циклом локомотивов с использованием автоматизированных систем технического диагностирования в сервисном локомотивном депо «Братское». Подробно описана методика реализации модели и достигнутые результаты, подтверждающие высокий научный уровень и практическую значимость выполненных автором исследований.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Вопросы и замечания по диссертационной работе:

1. При формировании выборок локомотивов для статистического анализа их эксплуатационных показателей (глава 2) автор отбирает по 40 локомотивов каждой из двенадцати рассматриваемых серий, при этом характеризует каждую из выборок как «статистически достоверная (репрезентативная) случайным образом сформированная выборка». Не ясно, на чем основана уверенность автора в репрезентативности таких выборок, поскольку статистическая проверка достаточности выборок (т.е. их репрезентативности) в работе, насколько можно судить из содержания главы 2, не выполнялась.
2. При проверке нормальности распределения выборок по критерию Колмогорова -Смирнова автор на странице 83 поясняет: «... при вероятности P (соответствия закона распределения выборки нормальному - В.Г.) $> 0,3$ выборку можно считать унимодальной и пригодной для анализа как однородные достоверные данные. В противном случае следует учитывать, что выборка бимодальна и даже мультимодальна». Как следует из таблицы 2.5, «унимодальной и пригодной для анализа как однородные достоверные данные»

можно считать только выборку времени работы в голове поезда электровоза 2ЭС5К. Выборки всех остальных серий локомотива, по заключению самого автора на странице 86, «нельзя считать унимодальными». Из работы не ясно, в чем должен состоять учет мультимодальности выборок при их обработке, имел ли он место в работе и как он может отразиться на результатах анализа.

3. Автором предложен стройный и строгий подход к оценке диагностической эффективности АСТД с учетом вероятности распознаваемых ею отказов ОД и затрат на устранение возможных последствий пропущенных отказов. Однако при оценке информационной эффективности бортовых АСТД автор вводит корректирующий коэффициент zz_i , который должен учитывать «наличие (степень наличия) в АСТД диагностирования i -того отказа», при этом порядок определения этого коэффициента не разъясняется, выбор его значений для разных отказов в разных видах АСТД при анализе носит субъективный характер, что снижает объективность оценок эффективности разных видов АСТД. Вероятно, вопрос определения величины этого коэффициента требует дополнительной проработки.
4. В главе 4, анализируя возможный эффект от применения АСТД, автор ограничивается такими его составляющими, как сокращение времени ожидания ремонтов, сокращение объема плановых и неплановых ремонтов. Между тем, как показывает опыт эксплуатации комплексов диагностики и настройки дизелей (КДН) «Магистраль» в локомотивных депо Белоруссии, основной составляющей эффекта от его применения является снижение эксплуатационного расхода топлива тепловозами на 1,8...2,0%, смазочного масла на 4%, при этом срок окупаемости комплекса только за счет снижения эксплуатационного расхода топлива на парке 35 локомотивов серии 2ТЭ10М не превысил 1,5 года. Таким образом, повышение уровня энергоэффективности локомотива за счет своевременного выявления параметрических отказов оборудования должно учитываться при анализе эффективности применения АСТД.
5. Моделируя изменение показателя NPV для различных АСТД в главе 4 работы, автор в качестве одного из типов АСТД рассматривает станции реостатных

испытаний тепловозов, определяя их назначение как «...входной и выходной контроль исправности дизель-генераторной установки (ДГУ) тепловозов» (п.4.5.3). По результатам моделирования делается вывод о возможной убыточности станции реостатных испытаний при отсутствии сокращения простоев на ТОиР и количества неплановых ремонтов.

Основным назначением реостатных испытаний тепловоза является не контроль его технического состояния, а приработка узлов трения дизеля, протяжка силовых резьбовых креплений, настройка и регулировка топливной аппаратуры и ряда других систем дизеля под нагрузкой после его сборки либо замены отдельных узлов, проверка работоспособности защитных устройств. Эти обязательные технологические операции (в том числе регулировка топливной аппаратуры), предусмотренные заводским руководством по эксплуатации дизеля, не могут выполняться никаким другим способом, а без их выполнения нормальная эксплуатация дизеля невозможна. Поэтому постановка вопроса о рентабельности реостатных испытаний в целом вряд ли уместна.

В то же время актуален вопрос о рентабельности как отдельных операций, выполняемых совместно с реостатными испытаниями и увеличивающих их продолжительность, как и технических средств для таких операций, а также отдельных видов испытаний, предусмотренных утратившими актуальность правилами ремонта (например, комплексов «Кипарис» для испытаний тепловозов с МСУ и контрольных реостатных испытаний после ТР1 таких тепловозов с нагружением ДГУ на водяной реостат).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Указанные замечания не снижают научного уровня работы А. П. Семенова и общую, безусловно, положительную ее оценку.

Считаю, что диссертационная работа Семенова А. П. по актуальности избранной темы, степени обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций, их достоверности и новизне, а также по содержанию, научному уровню, является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения,

внедрение которых вносит значительный вклад в развитие железнодорожного транспорта и страны.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 № 842, а её автор, Семенов Александр Павлович, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.22.07 - «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация».

Официальный оппонент, Гражданин Российской Федерации,
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство»
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I»

Владимир Васильевич Грачев

190031, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 9

Тел. +7 (812) 457-81-40 e-mail: v_grach@mail.ru

