

На правах рукописи



МАЖИДОВ ФИРУЗ АБДУВАХОБОВИЧ

**ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ГРУЗОВОГО
ВАГОНА С УЧЁТОМ ЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов
и электрификация

Автореферат

диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II» (МГУПС (МИИТ))

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент,
Иванов Александр Анатольевич.

Официальные оппоненты: **Лапшин Василий Фёдорович,**
доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой "Вагоны"
Уральского государственного
университета путей сообщения
(УрГУПС);
Петров Сергей Владимирович,
кандидат технических наук, старший
научный сотрудник лаборатории
«Вагонное хозяйство», отд. «Вагоны и
вагонное хозяйство», АО «ВНИИЖТ».

Ведущая организация: ОАО «Научно-исследовательский
институт вагоностроения»
(ОАО «НИИ вагоностроения»).

Защита состоится «08» февраля 2017 г., в 13.00 на заседании диссертационного совета Д 218.005.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II» (МГУПС(МИИТ)) по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте МГУПС (МИИТ), www.miit.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2016 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Н.Н. Воронин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время железнодорожный транспорт России занимает ведущее место на рынке транспортных услуг, выполняя более 80 % грузооборота и 20 % пассажирооборота всей транспортной системы страны. Для обеспечения безопасности движения, поддержания исправности и работоспособности вагонов, на железнодорожном транспорте организована сеть специализированных предприятий осуществляющих контроль их технического состояния, техническое обслуживание и ремонты различного объёма, стоимость основных фондов которых составляет порядка 15 % основных фондов отрасли. Предприятия несут ответственность за безотказную работу и безаварийное использование в перевозочном процессе грузовых вагонов в течение гарантийного периода, а также при следовании в поездах по гарантийным участкам.

Функционирование системы технического обслуживания и ремонта влияет не только на показатели надёжности вагонов, но и на стоимость жизненного цикла конструкций, что, в конечном итоге, определяет себестоимость перевозок и эффективность работы всего железнодорожного транспорта.

В настоящее время обострилось противоречие между требованиями правил технической эксплуатации (ПТЭ) железных дорог РФ и возможностями работников пунктов технического обслуживания грузовых вагонов на станциях (ПТО) обеспечить 100 % безаварийное проследование вагонов по гарантийному участку.

В основе этого противоречия лежат три причины:

- ограниченная или даже нулевая контролепригодность некоторых ответственных элементов конструкции вагона в условиях ПТО вагонов;
- специалисты на ПТО (осмотрщики вагонов) в своей работе при контроле технического состояния вагонов вынуждены полагаться в основном не на технические, а на органолептические методы обнаружения повреждений и отказов;
- дефицит времени на контроль технического состояния вагона, тяжёлые условия труда осмотрщиков (круглосуточная работа, в том числе в условиях плохой видимости, ночное время, ненастной погоды и др.).

Как показывает статистика, в последние годы увеличилось количество нарушений безопасности движения поездов из-за отказов вагонов. Так, например, по данным комитета некоммерческого партнёрства «Объединения производителей железнодорожной техники» (НП «ОПЖТ») в период 2001-2016 г. зафиксировано 170 изломов боковых рам тележек грузовых вагонов, из которых 20 привели к крушениям с серьёзными последствиями и 2 - к авариям.

Выявить с большой вероятностью имеющиеся отказы и повреждения вагонов позволяет глубокая диагностика деталей, которая периодически выполняется с помощью технических средств на специализированных предприятиях (в вагонных ремонтных депо (ВЧД-Р)). Обоснование периодичности этих проверок для обеспечения безопасности движения и организации системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) грузовых вагонов становится актуальной задачей.

Кроме того, составные детали и узлы не закреплены за конкретным вагоном и при агрегатном способе ремонта постепенно меняются. Это приводит к тому, что в составе

нового вагона могут оказаться старогодние детали, а у вагона, идущего под списание, – мало изношенные и относительно новые узлы. В сложившейся ситуации актуальным становится вопрос: – как определить тот самый остаточный срок службы для детали вагона, отработавшей некоторый период времени, чтобы обеспечить требуемый уровень риска их отказов в период между глубокими диагностиками.

Работа направлена на разработку методики расчётного обоснования остаточного срока службы грузового вагона, параметров системы его технического обслуживания и ремонта с учётом фактического технического состояния деталей и узлов (остаточного ресурса основных ответственных деталей). Методику можно реализовать на основе действующей отраслевой информационной системы контроля технического состояния подвижного состава. Её внедрение позволит повысить эффективность работы транспорта, обеспечивая требуемый (или управляемый) риск крушений и аварий, а также усовершенствовать организацию технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов.

Степень разработанности проблемы. Степень разработанности данной тематики исследований очень широка. Основной вклад в решение проблем прогнозирования остаточного ресурса изделий машиностроения внесли учёные и изобретатели: Болотин В.В., Садыхов Г.С., Серенсен С.В., Когаев В.П. и др. Исследования позволили решать задачи оценки остаточного ресурса элементов конструкций и машин.

Большой вклад в изучение данного вопроса применительно к железнодорожному транспорту внесли Костенко Н.А., Митюхин В.Б., Вологодина Л.Б., Лхамжавын Б., Устич П.А. Иванов А.А., Ивашов В.А., Орлов М. В., Вучечич И.И., Деркач Б.А., Кочнов А.Д., Коссов В.С., Оганьян Э.С. и др. Применительно к тяговому подвижному составу эта проблема рассматривалась Горским А.В., Воробьёвым А.А., Савоськиным А.Н., Григорьевым П.С. и др.

В машиностроении систему ТОиР разработал и обосновал Колегаев Р.Н. и его школа.

Кроме того, по данной тематике исследования проводились в научно-исследовательских институтах таких как ВНИИЖТ, ГП «УкрНИИВ», ВНИКТИ, ОАО НИИТКД и др. Приведённый обзор работ показывает, что в настоящее время не достаточно подробно разработаны расчётные методы оценки остаточного ресурса основных элементов конструкции вагона, ориентированные на возможности существующей отраслевой информационной системы вагонного хозяйства.

Цель и задачи исследования. Снижение стоимости жизненного цикла вагона и обоснование параметров его системы технического обслуживания и ремонта в условиях изменений параметров эксплуатационной среды путём разработки методики оценки остаточного срока службы конструкции вагона с учётом остаточного ресурса его деталей и узлов.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- анализ действующей системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов на отечественных железных дорогах, а также определение мировых тенденций совершенствования стратегий ремонтов;
- анализ повреждаемости грузовых вагонов в современных условиях эксплуатации;

- анализ конструкции грузового вагона для определения элементов, отвечающих за безопасность движения и их опасных отказов;
- анализ исследований, посвящённых оценке остаточного ресурса деталей и систем;
- разработка методики оценки остаточного срока службы для деталей вагонов, имеющих внезапные отказы, ориентированной на использование существующей информационной базы вагонного хозяйства железнодорожного транспорта;
- вывод формулы оценки остаточного срока службы детали с учётом требуемого риска её отказа, позволяющая использовать отраслевую информационную базу;
- обоснование вероятностной модели для опасных отказов основных элементов конструкции грузового вагона;
- организация и проведение сетевого эксперимента для получения точечных оценок параметров закона распределения наработки ответственных деталей до опасного отказа;
- для ремонтных предприятий вагонного хозяйства предложена технология применения методики оценки остаточного срока службы детали при принятии решения о возможности её использования в составе отремонтированного вагона;
- определение объекта оптимизации при оценке назначенного остаточного срока службы вагона;
- сформулирована оптимизационная задача расчётного обоснования параметров системы технического обслуживания и ремонта грузового вагона, отработавшего некоторый период времени, с учётом безусловного обеспечения безопасности движения и соответствия возможностям вагоноремонтной базы;
- разработка методики расчётного обоснования параметра безопасности грузового вагона – максимальной периодичности проведения глубоких диагностик вагона и модель его изменения по мере старения конструкции вагона;
- разработан алгоритм оптимизации и приведён тестовый пример использования методики оценки остаточного срока службы вагона, оценён ожидаемый экономический эффект от её использования на железнодорожном транспорте.

Научная новизна. Научная новизна заключается в:

- разработке методики оценки остаточного срока службы элементов конструкции грузового вагона, отвечающих за безопасность движения, на основе эксплуатационных данных;
- разработке методики оценки параметра безопасности грузового вагона в зависимости от возраста составных частей конструкции;
- оценке с помощью разработанной методики остаточного ресурса основных узлов и деталей в первую очередь влияющих на безопасность движения поездов на основе проведённого сетевого эксперимента;
- разработке методики расчётного обоснования назначенного остаточного срока службы грузового вагона и параметров его системы технического обслуживания и ремонта.

Теоретическая значимость работы. Теоретическая значимость заключается в:

- анализе действующих систем технического обслуживания и ремонта на железнодорожном транспорте, установлении тенденций и перспектив их совершенствования;

- разработке методики оценки остаточного срока службы вагона, проработавшего некоторый период времени, параметров его системы технического обслуживания и ремонта для обеспечения минимума себестоимости единицы работы с учётом возможных изменений запланированных расходов на техническое содержание при безусловном обеспечении безопасности движения и соответствии возможностям ремонтной базы.

- разработке методики оценки параметра безопасности вагона, которая позволяет учитывать остаточный ресурс и возраст основных элементов вагонных конструкции, а также прогнозировать изменение величины упомянутого параметра по мере старения конструкции.

Практическая значимость работы. Практическая значимость заключается в:

- оценке остаточного ресурса основных ответственных элементов конструкции вагона;

- определении периодичности проведения глубоких диагностик вагона с учётом фактического состояния его элементов;

- разработке технологии принятия решения о возможности использования деталей в составе отремонтированного вагона для предприятий вагонного хозяйства, которая ориентирована на возможности существующей отраслевой информационной системы;

- обеспечении снижения расходов жизненного цикла конструкции вагона за счёт обоснования остаточного срока службы вагона, а также параметров его системы технического обслуживания и ремонта при изменении параметров эксплуатационной среды на железнодорожном транспорте.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач применялись следующие методы:

- методика оценки остаточного срока службы деталей разработана на основе классических методов теории надёжности с учётом вероятностных моделей опасных отказов;

- при определении ответственных за безопасность деталей и узлов использовано древовидная модель схода вагона с рельсов за время t ;

- при определении остаточного срока службы детали вагона использована теоретически обоснованная модель опасного отказа, а параметры модели определены по статистической информации, полученной экспериментально на основе отраслевой информационной системы централизованного пономерного учёта грузовых вагонов. При этом использован метод максимального правдоподобия для неполных выборок, гипотеза о достоверности модели проверена с помощью критерия Колмогорова;

- проведение эксперимента, получение точечных оценок параметров законов распределения наработки до отказа и оценка остаточного ресурса детали выполнены на основе классических методов теории вероятностей, теории надёжности и математической статистики;

- математического анализа при решении оптимизационной задачи обоснования параметров системы технического обслуживания и ремонта вагона в остаточный срок службы;

- для оценки остаточного срока службы грузового вагона сформулирована оптимизационная задача с двумя ограничениями на аргументы целевой функции, приведено обоснование существования её экстремума, выведены рекуррентные формулы для поиска оптимальных решений.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

- методика оценки остаточного ресурса основных элементов конструкции грузового вагона, влияющих на безопасность движения, ориентированная на использование существующей информационной базы отрасли;

- технология принятия решения о возможности использования ответственных деталей в составе отремонтированного вагона с учётом требуемого (управляемого) риска их отказа;

- методика определения периодичности проведения глубоких диагностик грузовых вагонов с учётом фактического технического состояния их деталей и узлов;

- методика расчётного обоснования параметров системы технического обслуживания и ремонта грузового вагона, а также его остаточного срока службы в условиях изменений параметров эксплуатационной среды с учётом фактического технического состояния его деталей и узлов.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов оценки остаточных сроков службы деталей обеспечивается за счёт обоснования вероятностной модели опасного отказа и получения точечных оценок её параметров путём проведения сетевого эксперимента на базе системы централизованного пономерного учёта грузовых вагонов ГВЦ ОАО «РЖД» в соответствии с планом испытаний на надёжность, а также корректного использования теории надёжности при обработке результатов. Достоверность разработанной методики оценки остаточного срока службы вагона определяется корректностью применения методов математического анализа.

Основные результаты диссертации опубликованы в 9 печатных работах, имеющих теоретическую и практическую значимость, из них 2 работы – в рецензируемых научных периодических изданиях, включённых в перечень ВАК при Минобрнауки России для публикации результатов диссертационных работ.

Основные положения диссертационной работы докладывались на Международной конференции «NEWS OF SCIENCE-2015», Международной научно-практической конференции студентов и молодых учёных «Trans-Mech-Art-Chem-2014», на пятнадцатой и шестнадцатой научно-практических конференциях «Безопасность движения поездов», в межвузовском сборнике научных работ аспирантов и молодых учёных «Наука, Техника, Человек-2014».

Результаты исследований докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» МГУПС (МИИТ).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, отмечена степень разработанности исследований, сформулированы цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследований, методология и методы исследований, положения диссертации, выносимые на защиту, степень достоверности и апробации результатов.

Первая глава посвящена анализу систем технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов на отечественных железных дорогах и за рубежом, определены мировые тенденции совершенствования стратегий ремонтов на основе информационных технологий и методов оценки в эксплуатации фактического технического состояния деталей. Приведён анализ повреждаемости грузовых вагонов в современных условиях эксплуатации.

Ресурс изделия – это заложенная при его изготовлении способность сопротивляться неизбежным процессам деградации. Процесс старения изделий зависит не только от интенсивности использования его по назначению, но поддаётся ещё управлению в виде профилактических ремонтов и обслуживаний различного уровня и объёма. Набор распределённых во времени управлений такого рода, чередующихся с периодами использования изделия по назначению, определяют стратегию системы ТОиР.

По мере совершенствования конструкции вагонов система ТОиР на отечественных железных дорогах неоднократно изменялась, менялись компоненты, сроки проведения и др. Этот процесс продолжается до сих пор. Действующая в настоящее время система ремонта грузовых вагонов имеет плановый характер. Причиной низкой эффективности такой стратегии считается то, что вагоны ставятся в ремонт крупного объёма вне зависимости от того, требуются или не требуются ремонтные работы. Планирование постановки в ремонт по километровой наработке или двойному критерию (применяемые в настоящее время в системе ТОиР грузовых вагонов) принципиально не меняют сути стратегии, усложняя процесс планирования загрузки мощностей ремонтных предприятий. Кроме того отсутствует расчётное обоснование межремонтных периодов и назначенного нормативного срока службы вагона. В результате этого величина и количество межремонтных пробегов, а также сроки службы ответственных деталей не согласованы с нормативным сроком грузового вагона. Так, например, для полувагона назначенный срок службы составляет 22 года, при этом для боковой рамы тележки – 32 года. Таким образом, после списания вагона у боковой рамы остаётся невыработанный назначенный ресурс 10 лет. Аналогичные несоответствия существуют и для других составных частей вагона (поглощающий аппарат – 10 лет, ось колёсной пары – 15 лет и т.д.).

В подходах к организации систем ТОиР вагонов на отечественных железных дорогах и за рубежом много общего. В большинстве случаев системы имеют плановую стратегию. Перспективным направлением можно считать планирование сроков проведения ремонтов вагонам на основе прогнозирования технического состояния отдельных наиболее ответственных деталей и узлов, путём многократного измерения их основных параметров в процессе использования по назначению. При таком подходе большую роль играют автоматизированные информационные системы контроля технического состояния грузовых вагонов и их элементов, включая бортовые. Однако

методы прогнозирования технического состояния элементов конструкции на основе многократных измерений невозможно применить для неконтролепригодных отказов, например, для усталостных трещин. Для таких отказов возможно использовать только вероятностные методы, основанные на статистической информации об эксплуатации однотипных изделий

В настоящее время на железных дорогах России внедрены технологии протоколирования, сбора, передачи (подъёма с линейного уровня), централизованного хранения и обработки первичной информации о техническом состоянии каждого грузового вагона, на базе ГВЦ ОАО «РЖД» действует отраслевая информационная система централизованного пономерного учёта грузовых вагонов. Эта система может стать основой автоматизированной системы управления фактическим техническим состоянием грузовых вагонов в эксплуатации и оценки остаточного срока службы вагона с учётом его фактического технического состояния. Однако в силу объективных причин возможности этой системы в вагонном хозяйстве используются не полностью.

Организация и стратегия системы ТОиР грузовых вагонов не только влияет на долговечность конструкции и величину их остаточного ресурса, но и определяет уровень безопасности движения поездов. В настоящее время на отечественных железных дорогах зафиксирован рост числа нарушений безопасности движения поездов из-за неисправности вагонов. За последние 10 лет произошло 170 случаев изломов только боковых рам тележки грузовых вагонов. В 2013 г. количество изломов достигло 38 случаев (пиковое количество за всю историю), которые привели к сходам вагонов с рельсов, авариям и крушениям, а также повлекли за собой человеческие жертвы. Причины изломов известны в совокупности всем сторонам, причастным к созданию, эксплуатации и ремонту тележек. Наибольшее количество изломов происходит в зимнее время – при отрицательных температурах, причём эта тенденция сохраняется и в последние годы. Происходящие изломы боковых рам тележек грузовых вагонов происходят в период гарантийной ответственности предприятий, выполнявших деповской (ДР) или капитальный (КР) ремонты. Связи с этим, на вагоноремонтных предприятиях из-за неисправностей основных элементов вагонов возникает дефицит запасных частей, что увеличивает длительность простоя вагонов в неисправном состоянии. При этом в условиях дефицита основных элементов вагонов, значительного роста цен на новые узлы и детали операторские компании не готовы приобретать новые запасные части и стремятся использовать при ремонте собственные. Возможность использования в составе отремонтированного вагона каждой ответственной детали и период гарантийной ответственности вагоноремонтного предприятия должна помочь определить методика оценки остаточного ресурса элементов вагонной конструкции.

Таким образом, в действующей системе ТОиР грузовых вагонов сроки гарантийной ответственности предприятий, периодичности проведения ремонтов крупного объёма, назначенные сроки службы не согласованы и не имеют расчётного обоснования. Поэтому требуется разработка методики оценки остаточного срока службы грузового вагона, расчётного обоснования периодичности контроля технического состояния в депо с учётом фактического состояния его деталей и узлов, т.е. остаточного ресурса.

Вторая глава посвящена методологической основе решения задачи оценки остаточного ресурса детали, а также определению элементов конструкции грузового вагона, отвечающих за безопасность движения, величина остаточного срока службы которых должна влиять на периодичность проведения их глубоких диагностик в вагонных депо.

Как известно, наиболее часто к крушениям и сходам подвижного состава на железнодорожном транспорте приводят трещины и изломы основных несущих деталей вагонов. Причины этого не только в недостаточном качестве деталей, нарушении технологии изготовления, невысокой надёжности, но и низкой или нулевой контролепригодности этих отказов при техническом обслуживании вагонов на ПТО станций. В настоящее время для осмотрщиков вагонов на ПТО не разработаны переносные средства диагностики, позволяющие на ранней стадии выявлять образовавшиеся в деталях трещины. Однако, с большой вероятностью, такие отказы можно выявить в стационарных условиях вагонных ремонтных депо. Поэтому ответственность за безопасное движение вагонов необходимо перераспределять между вагоноремонтными депо (компаниями) и эксплуатационными депо. Для этого необходимо уточнить периодичность проведения глубоких диагностик вагона в стационарных условиях вагонных ремонтных депо для выявления опасных отказов. Поскольку такие детали имеют низкую контролепригодны в условиях использования вагона по назначению, а их опасные отказы – неконтролируемые и часто имеют внезапный характер, то для прогнозирования их возникновения использованы вероятностные модели теории надёжности.

Вероятность события, состоящего в том, что остаточный срок службы детали до возникновения ресурсного отказа, к которым относятся трещины несущих элементов вагонных конструкций (случайная величина ξ_t), будет не меньше требуемого периода эксплуатации x (например, периода до следующей глубокой диагностики вагона) при условии, что она использовалась по назначению и безотказно проработала до момента t , определяется:

$$P\{\xi_t \geq x\} = \frac{\bar{F}(t+x)}{\bar{F}(t)}, \quad (1)$$

где x – остаточный ресурс детали (например, срок службы), $\bar{F}(t)$ – функция надёжности – вероятность безотказной работы детали в течение времени t ; $\bar{F}(t+x)$ – вероятность безотказной работы детали в течение времени $(t+x)$.

Для оценки остаточного ресурса детали, проработавшей некоторый период времени t необходимо решить обратную задачу. Найти такое значение срока службы детали x , в течение которого опасный отказ не возникнет с требуемой вероятностью (или допустимым уровнем риска).

Знание остаточного срока службы позволит использовать следующий принцип при выполнении ремонтов различного вида – не допускать эксплуатацию детали, для которых остаточный срок службы меньше гарантийного периода (например, между глубокими диагностиками). Также с помощью оценки остаточного срока службы детали можно назначать сроки проведения очередной глубокой диагностики или планового ремонта вагона.

Конструкция современного грузового вагона состоит из множества отдельных узлов и деталей. Каждая из них должна безотказно функционировать в течение определённого промежутка времени, что зависит от заложенного ресурса. Определить отказы деталей конструкции грузового вагона, влияющих на безопасность движения, для которых, в первую очередь, необходимо оценивать остаточный ресурс, позволяет модель аварийности вагона в виде дерева событий. В результате проведённого анализа дерева событий установлено, что среди всех возможных отказов, приводящих к сходу вагона с рельсов, можно выделить две группы отказов. Первая группа – это отказы, возникновение которых сразу приводит к сходу вагона с рельса. Вторая – которые должны наступить совместно, чтобы произошёл сход. Следовательно, в первом приближении можно считать, что безопасность вагонных конструкций определяют отказы первой группы (Таблица 1).

Таблица 1 – Отказы первой группы

№	Наименование детали	Обозначение
1	Разрушение колеса	X_1
2	Разрушение боковины тележки	X_{21}
3	Разрушение надрессорной балки	X_{22}
4	Разрушение деталей ударно-тягового механизма	X_{23}
5	Разрушение деталей автотормоза	X_{24}
6	Разрушение сепаратора подшипника	X_{41}
7	Разрушение кольца подшипника	X_{42}

Из таблицы 1 следует, что наиболее опасным видом отказов для конструкции грузового вагона являются трещины, приводящие к разрушению деталей, что подтверждается статистикой аварийности на железнодорожном транспорте.

Третья глава посвящена оценке остаточного ресурса деталей на основе статических данных и обоснованию виду функции распределения наработок до появления опасного отказа.

С математической точностью доказано, что наработка изделия до опасного события (отказа) – появления первой микротрещины имеет закон распределения Вейбулла–Гнеденко (2):

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b} \quad (2)$$

где a и b – параметры масштаба и формы этого закона распределения, точечные оценки которых в работе получены с помощью метода максимального правдоподобия.

Выражения для получения точечных оценок (\hat{a} и \hat{b}) при не полной выборке и законе распределения Вейбулла–Гнеденко имеют вид (3) и (4):

$$\hat{a} = \left[\frac{\sum_{i=1}^m t_i^{\hat{b}} - \sum_{j=1}^s t_j^{\hat{b}}}{m} \right]^{\frac{1}{\hat{b}}}; \quad (3)$$

$$\frac{m}{\hat{b}} = -\sum_{i=1}^m \ln t_i + m \frac{\sum_{i=1}^m \hat{t}_i^{\hat{b}} \ln t_i + \sum_{j=1}^s \hat{t}_j^{\hat{b}} \ln t_j}{\sum_{i=1}^m \hat{t}_i^{\hat{b}} + \sum_{j=1}^s \hat{t}_j^{\hat{b}}}. \quad (4)$$

Четвертая глава посвящена обработке результатов проведённого сетевого эксперимента для получения точечных оценок параметров закона распределения наработки ответственных деталей до опасного отказа и определению величины остаточных сроков службы ответственных деталей грузовых вагонов.

В настоящее время на железнодорожном транспорте действует отраслевая автоматизированная система централизованного пономерного учёта вагонов (ЦПУВ) и её подсистема – журнал технического состояния грузового вагона. В системе по номеру вагона и его ответственных элементов можно проследить процесс изменения их технического состояния. В частности определить дату изготовления и начала эксплуатации, а также продолжительность безотказной эксплуатации до постановки вагона в ремонт. Таким образом, существующая информационная система отрасли позволяет собрать статистическую информацию в соответствии с планом испытаний на надёжности типа [NUT].

Эксперимент был проведён с помощью системы ЦПУВ для универсальных четырёхосных вагонов собственности Российской Федерации, выпущенных в 2005 и 2006 на одном из отечественных вагоностроительных заводов. В эксперименте участвовало $N=3963$ вагонов. Наблюдение проводилось в течение первых 22 месяцев после постройки вагона ($T=22$ мес.). Ответственные элементы вагонных конструкций и их опасные отказы определены в предыдущем разделе. При этом факт обнаружения осмотрщиком отказа вагона при текущем контроле технического состояния на станции фиксируется и отражается в вагонной учётной форме ВУ-23М. Эта информация (о переводе вагона в состав неисправных) передаётся в вычислительный центр в виде сообщения формы 1353. Например, относительно боковины тележки, в соответствии с действующим на сети железных дорог классификатором неисправностей грузовых вагонов, трещинам и изломам соответствует код 205. Всего в эксперименте было зафиксировано 12 случаев обнаружения отказов вагонов, включённых в эксперимент (с кодом 205). Нарботки до отказов вагонов приведены в таблице 2. При этом учитывалось одно важное условие, что в результате дефектоскопирования отказ боковой рамы подтверждён.

Таблица 2 – Нарботки до отказов боковины тележек

Условный номер вагона	Нарботка до отказа, мес.	Условный номер вагона	Нарботка до отказа, мес.	Условный номер вагона	Нарботка до отказа, мес.
56861432	5	56874625	15,1	56872546	19,7
56896685	7,16	56873205	15,84	56865326	21,13
56873312	9,64	56867587	18,67	56871688	21,67
56833506	10,62	56872587	18,84	56873056	21,87

С помощью формул (3) и (4) получены точечные оценки параметров закона распределения $\hat{b}=2,61$, $\hat{a} = 186$ мес.

С помощью критерия А.Н. Колмогорова проверялась гипотеза о близости полученной модели наработки до опасного отказа (например, боковины) и статистической функций распределения, значения которой получены методом Фишбеяна (Таблица 3).

Таблица 3 – Определение максимального расхождения между статистической функцией и моделью отказа

№	t, мес.	$F(\tau_i)$	$F_{\Phi}(\tau_i)$	$D_n = F_{\Phi}(\tau_i) - F(\tau_i) $
1	5	0,00008	0,000252	0,000172
2	7,16	0,0002	0,000504	0,000305
3	9,64	0,00043	0,000756	0,000327
4	10,62	0,00056	0,001009	0,000449
5	15,1	0,0014	0,001261	0,000139
6	15,84	0,00159	0,001513	0,000076
7	18,67	0,00244	0,001765	0,000674
8	18,84	0,00249	0,002018	0,000472
9	19,7	0,0028	0,002270	0,000530
10	21,13	0,00337	0,002522	0,000847
11	21,67	0,00359	0,002774	0,000815
12	21,87	0,00368	0,003027	0,000653

Выборочное значение критерия $z = D_n \sqrt{n} = 0.000847 \sqrt{3963} = 0,053339 < 1,36$. Как видно, гипотеза о близости теоретического и статического распределений верна, поэтому полученную модель отказа боковины можно использовать при прогнозировании показателей надёжности, и, в частности, остаточного ресурса с вероятностью ошибки не превышающей 5 %.

Таким образом, теоретическая функция распределения опасного отказа боковой рамы тележки грузового вагона имеет вид: $1 - \bar{F}(t) = F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{186}\right)^{2,61}}$ график, которой приведён на рисунке 1. Теоретическая и статистическая функции распределения приведены на рисунке 2.

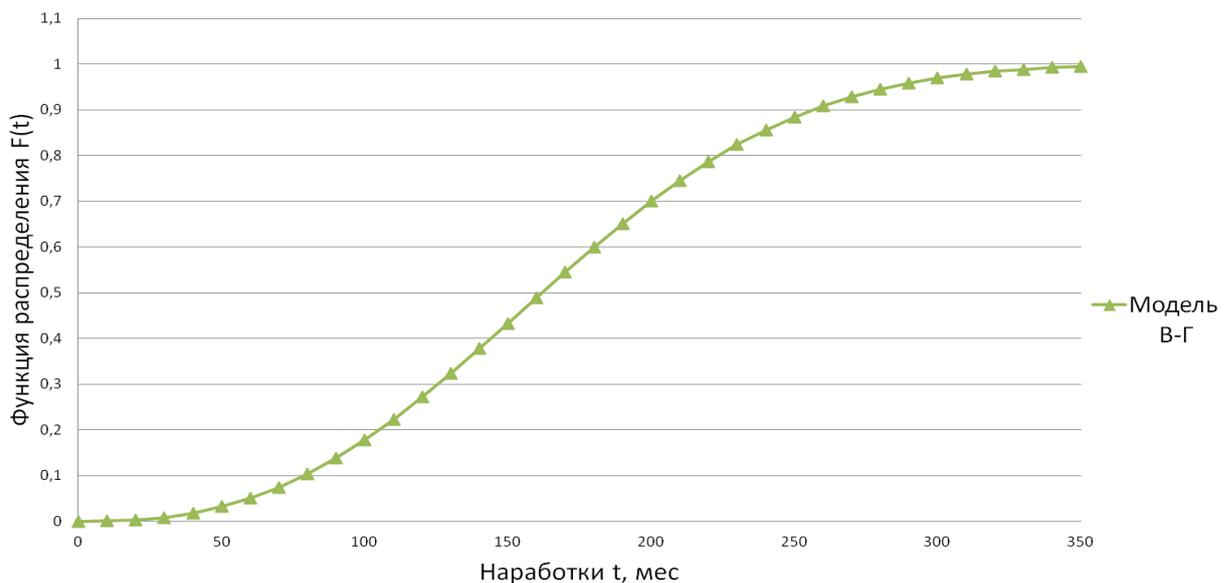


Рисунок 1 – Функция распределения опасного отказа боковой рамы тележки грузового вагона с точечными параметрами $\hat{b} = 2,61$, $\hat{a} = 186$ мес.

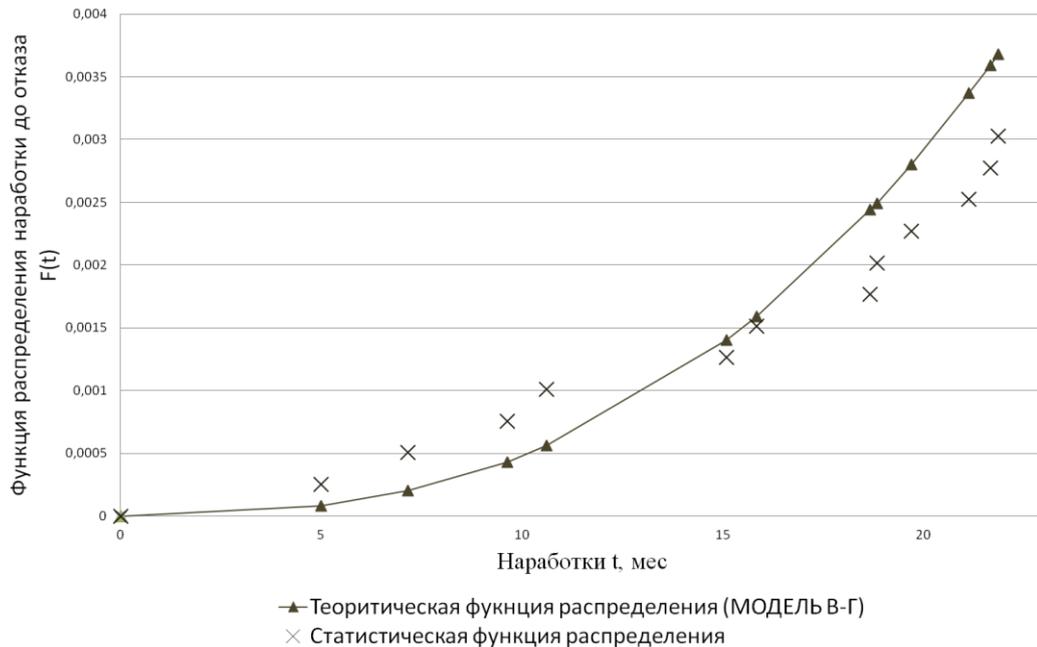


Рисунок 2 – Теоретическая и статистическая функция распределения, к определению максимального расхождения функций

С учётом модели отказа (2) и формулы (1) получено выражение остаточного срока службы относительно опасного отказа ответственной детали, безотказно проработавшей некоторый период времени t :

$$x = \hat{b} \sqrt{\left[\left(\frac{t}{\hat{a}} \right)^{\hat{b}} - \ln P \right] \hat{a}^{\hat{b}} - t}, \quad (5)$$

где P – требуемая вероятность отсутствия опасного отказа за период x (величина $(1-P)$ определяет требуемый уровень риска крушения). Примем величину $P=0,99$.

Итак, с учётом полученных эксплуатационных данных для боковин выпуска 2006 г., безотказно отработавших 22 мес. остаточный срок службы, в течение которого опасный отказ не возникнет с вероятностью $y=99\%$, составит:

$$x = 2,6 \sqrt{\left[\left(\frac{22}{186} \right)^{2,6} - \ln 0,99 \right] 186^{2,6} - 22} = 14,2 \text{ мес.}$$

Таким образом, по истечении этого срока потребуется провести глубокую диагностику детали и аналогично выполнить оценку остаточного срока службы. При этом объём статистической информации о работе рассматриваемой партии деталей увеличится, что потребует перерасчёта параметров модели отказа. Если предположить, что после окончания допустимых 14,2 мес. работы детали параметры вероятностной модели \hat{a} и \hat{b} не изменились, то возможно решить аналогичную задачу (оценки остаточного срока службы детали, безотказно проработавшей период $22+14,2=36,2$ мес., с учётом требуемого уровня риска опасного отказа). Так, при $t=36,2$ мес., остаточный срок службы составит 8,4 мес.

В общем случае, процесс эксплуатации боковины тележки можно представить в виде последовательных чередований процесса использования детали по назначению и моментов проведения плановых необходимых глубоких диагностик, в каждой из которых

будет оценён остаточный срок службы рассматриваемой детали с заданным уровнем риска опасного отказа. Планируемая последовательность контролей технического состояния боковины по мере её старения для различных значений уровня риска ($1-P$) представлена на рисунке 3, трёхмерная модель для поддержки принятия решения о величине остаточного срока службы боковин выпущенных в 2006 году с учётом управляемого риска возникновения опасного отказа приведена на рисунке 4.

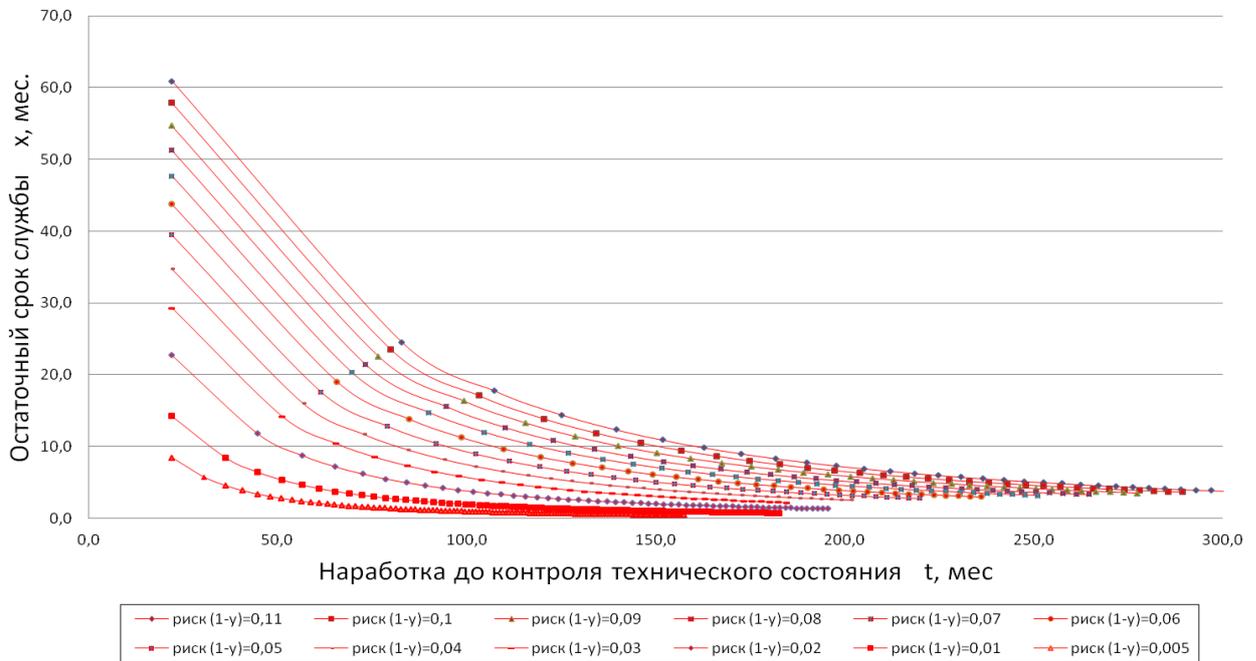


Рисунок 3 – Изменение остаточного срока боковины по мере её старения при различных уровнях риска ($1-y$) для модели отказа Вейбулла-Гнеденко с параметрами $\hat{b} = 2,6$ и $\hat{a} = 186$ мес.

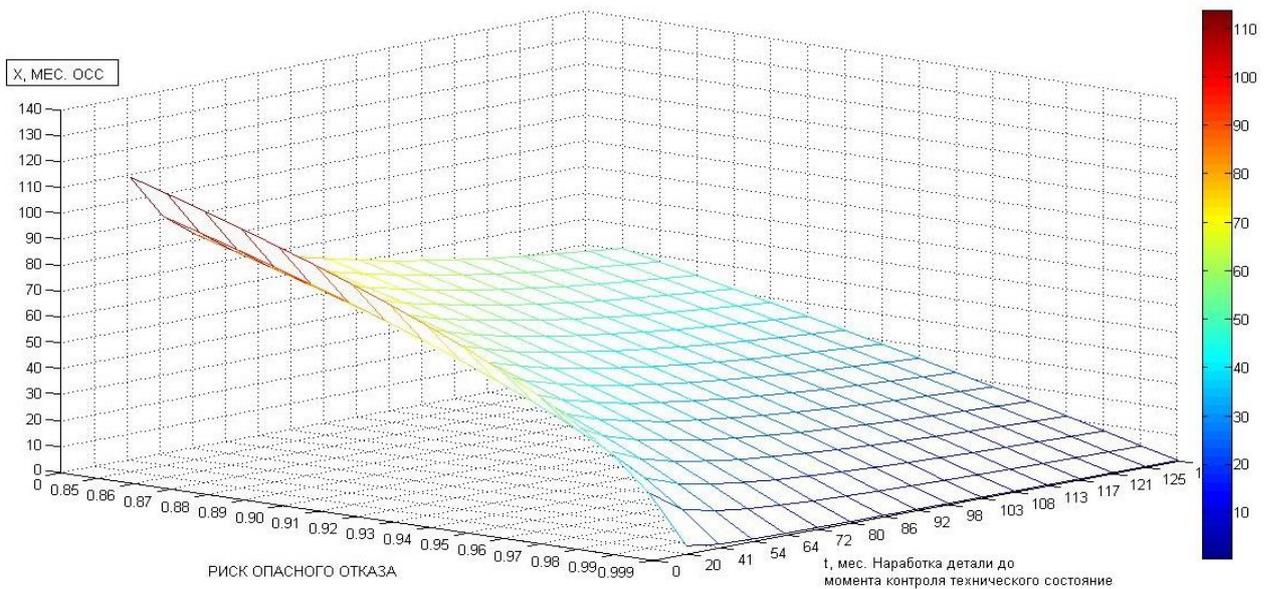


Рисунок 4 – Трёхмерная модель для поддержки принятия решения об остаточном сроке службы боковины 2006 года выпуска для системы управления риском её отказа

Аналогичным образом получены значения остаточного ресурса остальных наиболее ответственных деталей (Таблица 4). Из полученных результатов видно, что в конструкции вагона рассматриваемого завода-изготовителя наименее надёжными в эксплуатации являются боковины тележек грузовых вагонов. Вероятность безотказной работы и средняя наработка до появления трещины боковины существенно ниже по сравнению с остальными деталями, что полностью соответствует сложившейся ситуацией на железнодорожном транспорте.

Таблица 4 – Остаточный срок службы деталей грузовых вагонов при $t=22$ мес.

№	Наименование детали	Параметры		Остаточный срок службы, мес.	Средняя наработка до отказа, мес.
		\hat{a}	\hat{b}		
1	Колесо	4434	1,11	65,1	4224,47
2	Боковая рама	186	2,61	14,2	165,22
3	Надрессорная балка	636	2	45,4	563,64
4	Автосцепка	847	1,73	43,8	754,87
5	Тяговый хомут	899	2	70,8	796,71

Для практического использования метода и повышения качества результатов необходимо, чтобы информационная база отрасли постоянно собирала информацию об отказах по каждой ответственной детали. На практике это возможно реализовать, поскольку каждая ответственная деталь имеет уникальный идентификационный номер, кроме того, в системе ЖТСВ предусмотрено ведение ремонтно-эксплуатационного паспорта вагона, в котором фиксируются все случаи замены основных элементов вагона. Кроме того, в базе ЖТСВ требуется собирать информацию не только о причинах перевода вагона в нерабочий парк, но и о реально выполненных ремонтных работах, поскольку при проведении текущего ремонта могут быть выявлены отказы, информация о которых в настоящее время теряется. Важно отметить ещё одно условие, в информационной системе необходимо собирать информацию обо всех случаях браковки ответственных деталей, в том числе по результатам дефектоскопирования в вагонных ремонтных депо, независимо от формы собственности предприятия.

Приведённую методику оценки остаточного ресурса деталей с использованием информационной системы вагонного хозяйства достаточно просто автоматизировать и применить в вагонных депо и на вагоноремонтных заводах. По мере накопления статистической информации, автоматизированная система сможет обеспечить корректировку значений остаточного срока службы детали и передавать значения в систему управления фактическим техническим состоянием вагона. Такой подход совместно с прогнозированием темпов износов различных элементов грузовых вагонов, позволит на принципиально ином уровне организовывать работу системы ТОиР и перейти от действующей плановой стратегии проведения ремонтов крупного объёма к планово-диагностической.

На основе приведённой методики в работе предложена технология принятия решения о возможности использования конкретной детали в составе отремонтированного вагона. Если при деповском ремонте в результате неразрушающего контроля детали зафиксировано её исправное состояние, то этого недостаточно, чтобы, оставить деталь в составе отремонтированного вагона. Требуется, чтобы расчётное значение остаточного

ресурса детали было не меньше периода ответственности ремонтного предприятия (например, периода до следующего планового ремонта). При формировании ремонтно-эксплуатационного паспорта вагона в депо автоматизированная система в соответствии с предложенной технологией выполнит такую проверку автоматически. При этом система даст разрешение на использование детали в составе отремонтированного вагона, если её остаточный ресурс больше периода до очередного ремонта крупного объёма, в противном случае система выдаст запрет на установку детали на вагон. Кроме того, в условиях ремонтного предприятия для вагона можно подбирать детали с равным остаточным ресурсом, формируя соответствующий запрос в автоматизированную систему.

Пятая глава посвящена разработке методики оценки остаточного назначенного срока службы грузового вагона с учётом его технического состояния и обоснования системы ТОиР в этот период при изменении параметров эксплуатационной среды.

Долговечность и эффективность использования грузового вагона зависит от ресурса его элементов. В процессе использования по назначению заложенный при изготовлении ресурс элементов конструкции постепенно расходуется, увеличиваются износы и коррозия, возникают усталостные повреждения. При этом растёт количество отказов вагона, снижается эффективность его работы, увеличивается продолжительность нахождения в неработоспособном состоянии, возрастает риск аварий и крушений. Ремонты крупного объёма (ДР и КР) предназначены для восстановления ресурса элементов конструкции вагона, включая базовые, такие как элементы кузова. Тем самым, продлевается срок полезного использования эксплуатируемых вагонов. При таком подходе не представляется возможным оценить долговечность вагона методами аналогичными рассмотренным ранее, и поэтому более часто используют т.н. нормативный (назначенный) срок службы. Его величина влияет на стоимость жизненного цикла грузового вагона, себестоимость единицы пробега и, соответственно, тариф на перевозку. Как показано в работе В.Б. Митюхина, задача оценки нормативного срока службы вагона рассматриваемого типа должна решаться совместно с обоснованием параметров его системы ТОиР. В качестве критерия оптимальности используется себестоимость тонно-километровой работы или, в силу объективных причин, себестоимость единицы пробега вагона. Величина остаточного срока службы вагона, отработавшего некоторый период времени, определяется как разница между назначенным сроком службы и возрастом вагона.

В процессе эксплуатации вагона параметры эксплуатационной среды могут изменяться, кроме того эксплуатационные показатели надёжности и безопасности могут отличаться от значений, рассчитанных для нового вагона при обосновании его нормативного срока службы. Это приводит к росту себестоимости единицы пробега вагона. Например, если оптимальный срок службы вагона 30 лет и себестоимость единицы пробега составляет 2449,11 у.е./год, то при увеличении на 10% цены нового вагона, а также стоимости каждого ДР и КР себестоимость возрастает на 3,7 % (до 2540,8 у.е./год), т.е. можно говорить, что в этом случае параметры системы ТОиР и значение нормативного срока службы выходят из области оптимальных значений.

Таким образом, возникает актуальная задача: – оценить величину остаточного назначенного срока службы грузового вагона, отработавшего некоторый известный срок,

и обосновать параметры его системы ТОиР с учётом изменений параметров эксплуатационной среды, т.е. за счёт рационального подбора параметров системы ремонта, а также перерасчёта остаточного нормативного срока службы сократить возрастание себестоимости единицы пробега вагона в последующий период эксплуатации при безусловном обеспечении безопасности движения, а также с учётом возможностей вагоноремонтной базы.

При решении задачи определения остаточного назначенного нормативного срока службы грузового вагона впервые предложено в качестве объекта оптимизации рассматривать матрицу межремонтных пробегов с учётом того, что вагон отработал некоторый период времени. Например,

$$[l_j^x] = [l_1 \quad l_2 \quad l_3 \quad l_4^x \quad l_5^x \quad l_6^x \quad l_7^x \quad l_8^x \quad l_9^x \quad l_{10}^x \quad l_{11}^x \quad l_{12}^x],$$

где l_i , $i=\overline{1,3}$ – межремонтные периоды, отработанные вагоном и не подлежащие перерасчёту, т.е. в рамках решаемой задачи принимаются постоянными; l_j^x , $j=\overline{4,12}$ – искомые периоды, требующие перерасчёта в новых условиях эксплуатации; количество ремонтных циклов $n^0=3$, количество межремонтных периодов в каждом цикле: $m_1^0=3$, $m_2^0=4$, $m_3^0=5$, количество элементов матрицы $m_s^0=m_1^0+m_2^0+m_3^0=3+4+5=12$; количество запланированных КР $n_{KP}^0=n^0-1=2$, количество запланированных ДР $n_{DP}^0=m_s^0-n_{KP}^0=12-3=9$. Сумма l_j^x , $j=\overline{4,12}$ определяет искомый оптимальный остаточный нормативный срок службы вагона рассматриваемого типа при заданной структуре системы ремонта.

Оптимальные параметры системы ТОиР и остаточный срок службы в изменившихся условиях эксплуатационной среды получаем, решая следующей задачу на условный экстремум:

$$\left\{ \begin{array}{l} f(l_j^x) \rightarrow \min; \\ l_j^x \leq l_{БДj}; \\ \left| \frac{M}{\Pi(l_j^x)} - \alpha \right| < \varepsilon, \end{array} \right. \quad (6) \quad (7) \quad (8)$$

где $f(l_j^x)$ – целевая функция, суть которой себестоимость единицы пробега вагона за остаточный срок службы; l_j^x – неизвестные j -е межремонтные периоды, требующие перерасчёта в новых условиях эксплуатации, сумма которых определяет искомый оптимальный остаточный нормативный срок службы вагона рассматриваемого типа; $l_{БДj}$ – параметр безопасности вагона; M – мощность ремонтного хозяйства вагонов рассматриваемого типа; $\Pi(l_j^x)$ – потребность в глубоких диагностиках вагонов рассматриваемого типа (или в ДР в зависимости от стратегии этого ремонта) в течение интересующего нас календарного года; α – коэффициент технологического запаса мощности ремонтного хозяйства вагонов рассматриваемого типа; ε – требуемая точность расчётов (0,05-0,1).

В качестве целевой функции к задаче принято выражение:

$$f(l_j^x) = f_s(l_j^x) + f_{KP}(l_j^x) + f_{DP}(l_j^x) + f_{TP}(l_j^x) + f_d(l_j^x), \quad (9)$$

где $f_s(l_j^x)$ – удельные затраты на приобретение вагона; $f_{KP}(l_j^x)$ – удельные суммарные затраты на КР; $f_{ДР}(l_j^x)$ – удельные суммарные затраты на ДР; $f_{ТР}(l_j^x)$ – удельные суммарные затраты на ТО и ТР; $f_d(l_j^x)$ – удельные издержки других хозяйств отрасли (тяги, движения и др.):

$$f(l_j^x) = \frac{(S^0 - Q^0) \sum_{i=x+1}^{m_s^0} l_i + \Delta S}{L^0} + \frac{n_{KP}^0 \cdot RKR^0 \sum_{i=x+1}^{m_s^0} l_i + \Delta n_{KP}^x \cdot RKR^0 + n_{KP}^x \cdot \Delta RKR^x}{L_0} + \frac{\sum_{j=x+1}^{m_s^x} l_j^x}{\sum_{j=x+1}^{m_s^x} l_j^x} + \frac{n_{ДР}^0 \cdot RDR^0 \sum_{i=x+1}^{m_s^0} l_i + \Delta n_{ДР}^x \cdot RDR^0 + n_{ДР}^x \cdot \Delta RDR^x}{L_0} + \frac{\sum_{j=x+1}^{m_s^x} l_j^x}{\sum_{j=x+1}^{m_s^x} l_j^x} + \frac{\sum_{i=1}^x (a_i l_i + b_i l_i^2) - \frac{\sum_{i=1}^{m_s^0} (a_i l_i + b_i l_i^2)}{L^0} \sum_{i=1}^x l_i^0 + \sum_{j=x+1}^{m_s^x} (a_j^x l_j^x + b_j^x l_j^{x^2})}{\sum_{j=x+1}^{m_s^x} l_j^x} + \frac{\sum_{i=1}^H d_i^0 \sum_{i=x+1}^{m_s^0} l_i^0 + \Delta D}{L^0 \sum_{j=x+1}^{m_s^x} l_j^x},$$

где S^0 – покупная цена вагона на начало его эксплуатации; Q^0 – запланированная величина ликвидной стоимости вагона; L_0 – запланированный назначенный срок службы вагона по системе $[l_i^0]$; l_i – i -й межремонтный пробег вагона по системе ремонта $[l_i^0]$; l_j^x – планируемый остаточный назначенный срок службы; m_s^0 – количество элементов вектора системы ремонта $[l_i^0]$; x – количество периодов, отработанных вагоном до перехода на откорректированную систему ремонта $[l_i^x]$; ΔS – изменение покупной цены вагона; m_s^x – количество элементов искомого вектора системы ремонта $[l_j^x]$; n_{KP}^0 – количество КР, запланированных по системе ремонта $[l_i^0]$; Δn_{KP}^x – изменение числа КР ремонтов в перспективном периоде работы по сравнению с запланированным по системе ремонта $[l_i^0]$; RKR^0 – запланированные затраты на КР; n_{KP}^x – количество КР, планируемых по структуре с $[l_j^x]$; ΔRKR^x – величина, на которую в новых условиях увеличивается стоимость КР; $n_{ДР}^0$ – количество ДР, запланированных по системе ремонта $[l_i^0]$; RDR^0 – запланированные затраты на ДР; $\Delta n_{ДР}^x$ – изменение числа ДР ремонтов в перспективном периоде работы по сравнению с запланированным по системе ремонта $[l_i^0]$; $n_{ДР}^x$ – количество ДР, планируемых по структуре с $[l_j^x]$; ΔRDR^x – увеличение стоимости ДР; a_i и b_i – коэффициенты роста затрат по мере старения вагона на i -м межремонтном периоде; a_j^x и b_j^x – коэффициенты роста затрат на техническое обслуживание и ТР по мере старения вагона на j -м межремонтном периоде планируемого остаточного назначенного срока службы; d_i – суммарные издержки за назначенный срок службы вагона i -го хозяйства; H – количество хозяйств; ΔD – изменение суммарных издержек в течение остаточного назначенного срока службы. Обосновано существование экстремума целевой функции,

получены рекуррентные формулы для определения оптимальных периодов при заданной структуре системы ТОиР:

$$l_j^x = \frac{b_{x+1}}{b_j} l_{x+1}^x + \frac{a_{x+1} - a_j}{2b_j}; j = x+2, m_s^x. \quad (10)$$

где x – номер межремонтного периода в исходной системе ТОиР $[l_i^0]$, после которого выполняется запланированный ремонт, а последующие ремонты назначаются в соответствии с найденными оптимальными периодами по $[l_j^x]$. Значение l_{x+1}^x получаем, решая уравнение:

$$A \cdot (l_{x+1}^x)^2 + B \cdot l_{x+1}^x + C = 0, \quad (11)$$

где коэффициенты определяются:

$$A = b_{x+1} + b_{x+1}^2 \sum_{k=x+2}^{m_s^x} \frac{1}{b_k}; \quad B = b_{x+1} \left[a_{x+1} \sum_{k=x+2}^{m_s^x} \frac{1}{b_k} - \sum_{k=x+2}^{m_s^x} \frac{a_k}{b_k} \right];$$

$$C = \frac{1}{4} \sum_{k=x+2}^{m_s^x} \frac{(a_{x+1} - a_k)^2}{b_k} - \left((S_0 - Q_0) \frac{\sum_{i=1}^x l_i}{L_0} + \Delta S \right) -$$

$$- \left(\frac{n_{KP}^0 \cdot RKR^0 \sum_{i=1}^x l_i}{L_0} + \Delta n_{KP}^x \cdot RKR^0 + n_{KP}^x \cdot \Delta RKR^x \right) - \left(\frac{n_{ДР}^0 \cdot RDR^0 \sum_{i=1}^x l_i}{L_0} - \Delta n_{ДР}^x \cdot RDR^0 + n_{ДР}^x \cdot \Delta RDR^x \right) -$$

$$- \left(- \sum_{i=1}^x (a_i l_i + b_i l_i^2) \cdot \frac{i=x+1}{L_0} - \sum_{i=x+1}^{m_s^0} (a_i l_i + b_i l_i^2) \cdot \frac{\sum_{i=1}^x l_i}{L_0} \right) - \left(\frac{\sum_{k=1}^H d_k \cdot \sum_{i=1}^x l_i}{L_0} + \Delta D \right),$$

Величина параметра безопасности $l_{БД}$ – максимальной периодичности проведения глубоких диагностик грузового вагона в условиях планового ремонта определялась в зависимости от фактического технического состояния вагона по минимальному остаточному ресурсу наиболее ответственных деталей и узлов, перечень которых приведён в разделе 4:

$$l_{БД} = \min(\tau_1^{OCT}, \tau_2^{OCT}, \tau_3^{OCT}, \dots, \tau_i^{OCT}), \quad (10)$$

где τ_i^{OCT} – остаточный срок службы с учётом требуемого риска крушений поезда для i -й ответственной детали, установленной на вагоне. В соответствии с полученными значениями минимальная величина остаточного срока службы – у боковой рамы тележки. Этот срок определяет период, по истечении которого потребуется проведение следующей диагностики ответственных деталей вагона. План проведения глубоких диагностик по мере старения вагона приведён на рисунке 5. Для определения потребности в плановых ремонтах в заданном году использована методика разработанная на кафедре «Вагоны и вагонное хозяйство» МИИТ.

Фактические расходы на содержание вагона за нормативный срок службы представлены в таблице 6. После изменения составляющих на 20 % без перерасчёта оптимального остаточного срока службы грузового вагона, СЕП увеличивается на 18,7 %.

Таблица 6 – Составляющие расходов на содержание вагона для структуры «4-5-6»

ω_0	Затраты, руб./мес.				Итого	НСС(l_j^0), мес.	СЕП (l_j^0), руб./мес.
	ТР	ДР	КР	S-Q			
до измен.	355966,8	2400000	1200000	1800000	5755966,8	115,3	49935,1
после измен.	355966,8	2880000	1440000	2160000	6835966,8	115,3	59304,5

Рассмотрено множество конкурирующих структур системы ТОиР (Таблица 7).

Таблица 7 – Структуры системы ремонта полувагона

№	Обозн.	Структура	№	Обозн.	Структура	№	Обозн.	Структура	№	Обозн.	Структура
1	ω_1	4/0-5-1	6	ω_6	4/0-5-6	11	ω_{11}	4/0-6-1	16	ω_{16}	4/0-6-6
2	ω_2	4/0-5-2	7	ω_7	4/0-5-7	12	ω_{12}	4/0-6-2	17	ω_{17}	4/0-6-7
3	ω_3	4/0-5-3	8	ω_8	4/0-5-8	13	ω_{13}	4/0-6-3	18	ω_{18}	4/0-6-8
4	ω_4	4/0-5-4	9	ω_9	4/0-5-9	14	ω_{14}	4/0-6-4	19	ω_{19}	4/0-6-9
5	ω_5	4/0-5-5	10	ω_{10}	4/0-5-10	15	ω_{15}	4/0-6-5	20	ω_{20}	4/0-6-10

Для каждой структуры определяются оптимальные межремонтные периоды с учётом ограничения по безопасности движения ($l_{БД}$) и потребность в деповских и капитальных ремонтах вагонов $\Pi(l_j^x)$ в течение 2017 г., а также проверяется ограничение (8).

Из всех вариантов структуры системы ремонта условие (8) выполняется для структур ω_5 , ω_6 , ω_{15} и ω_{16} . Для этих структур системы ремонта вычисляется СЕП(l_j^x) и выделяется та, у которой СЕП(l_j^x) принимает минимальное значение (Таблица 8).

Таблица 8 – Затраты на содержания полувагона за остаточный срок службы

Ω	Затраты, руб.					Итого	l_j^x , мес.	СЕП(l_j^x), руб./мес.
	S-Q	ДР	КР	ТР	D			
ω_5	1629250,1	1812333,5	966166,8	213239,9	0	4620990,3	77,2	59873,3
ω_6	1629250,1	2052333,5	966166,8	251006,1	0	4898756,5	81,3	60269,7
ω_{15}	1629250,1	2052333,5	966166,8	240935,1	0	4888685,5	81,3	60145,8
ω_{16}	1629250,1	2292333,5	966166,8	278701,3	0	5166451,7	85,4	60510,1

Как видно из таблицы 8 искомая структура системы ТОиР – это структура 4/0-5-5.

Определяя СЕП за остаточный срок службы, нетрудно подсчитать ожидаемый экономический эффект применения рассмотренной методики в условии роста параметров эксплуатационной среды, который равен 396,4 руб./мес. на один вагон парка. При переводе парка полувагонов, например, 10000 вагонов на систему ТОиР (4/0-5-5) экономический эффект составит порядка 3,96 млн. руб./мес.

Заключение

В диссертации получены следующие результаты:

1. Разработана методика оценки остаточного ресурса деталей, имеющих внезапные отказы, которая ориентирована на использование существующей информационной базы железнодорожного транспорта и может быть автоматизирована.

2. Разработана технология принятия решения о возможности выпуска детали из ремонта в составе конкретного вагона, которую можно реализовать в условиях вагонных депо. По мере накопления статистической информации, система обеспечит корректировку значений остаточного срока службы детали.

3. На основе построения дерева отказов вагона определено, что безопасность вагона определяют трещины и изломы таких деталей, как колеса, наддресорной балки, боковой рамы тележки, автосцепного устройства.

4. На основе проведённого эксперимента получена вероятностная модель изменения остаточного ресурса детали по мере её старения с учётом требуемого риска опасного отказов основных ответственных деталей.

5. Изменение параметра безопасности вагона – периодичности проведения глубоких диагностик в зависимости от его возраста можно оценивать по величине остаточного срока службы его ответственных составных частей.

6. За счёт расчётного обоснования параметров системы технического обслуживания и ремонта вагона и корректировки его остаточного срока службы можно уменьшить влияние изменений параметров эксплуатационной среды на стоимость жизненного цикла вагона и себестоимость перевозок.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Мажидов, Ф.А. К оценке показателей надёжности элементов вагонов / А.А. Иванов, Ф.А. Мажидов // Труды пятнадцатой научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – 2014. – С. II-29 - II-30.

2. Мажидов, Ф.А. Определение остаточного срока службы боковой рамы / Ф.А. Мажидов, Н.Д. Зверева // Труды пятнадцатой научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – 2014. – С. II-62 - II-63.

3. Мажидов, Ф.А. Определение остаточного срока службы элементов вагонных конструкции на основе статических данных / Ф.А. Мажидов, А.А. Иванов // Труды X Международной научно-практической конференции «Trans-Mech-Art-Chem». – 2014. – С. I-64 - I-65.

4. Мажидов, Ф.А. Применение научного метода к моделированию программы PROCAS / Ф.А. Мажидов, А.А. Иванов // Межвузовский сборник научных работ аспирантов и молодых учёных Журнал «Наука, Техника, Человек». – 2014. – №6. – С. 22-25.

5. Устич, П.А. Метод расчётного обоснования продления нормативного срока службы вагона с учётом управляемого риска перехода его в аварийное состояние / П.А. Устич, А.А. Иванов, Ф.А. Мажидов // Труды шестнадцатой научно – практической конференции «Безопасность движения поездов». – 2015. – С. I-21 - I-24.

6. Устич, П.А. Остаточный срок службы детали и алгоритм управления фактическим состоянием грузового вагона с учётом требуемого уровня риска возникновения опасного отказа / П.А. Устич, А.А. Иванов, Ф.А. Мажидов, А.А. Салтыкова // Международная научная конференция «News of science». – 2015. – С. 83-94.

7. Устич, П.А. Оценка остаточного срока службы деталей вагона с учётом управляемого риска их опасного отказа / П.А. Устич, А.А. Иванов, Ф.А. Мажидов, А.А. Салтыкова // Труды шестнадцатой научно – практической конференции «Безопасность движения поездов». – 2015. – С. II-128 - II-130.

8. Устич, П.А. Оценка остаточного срока службы деталей на основе данных об отказах / П.А. Устич, А.А. Иванов, Ф.А. Мажидов // Мир транспорта. – 2015. – №6. – С. 196-205.

9. Устич, П.А. Применение информационных технологии в системе технического обслуживания и ремонта вагонов / П.А. Устич, А.А. Иванов, Ф.А. Мажидов // Бюллетень транспортной информации. – 2016. – №9. – С. 13-21.

Мажидов Фируз Абдувахобович

Оценка остаточного срока службы грузового вагона с учётом
его технического состояния

Специальность 05.22.07 - Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и
электрификация

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Подписано в печать -
Усл. Печ. л,- 1,5

Заказ №

Формат 60x84/16
Тираж 80 экз.

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