

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»



На правах рукописи

САВЧЕНКО Мария Александровна

**РАСЧЁТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОТЯЖЁННОСТИ
ГАРАНТИЙНОГО УЧАСТКА ПУНКТА ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ С УЧЁТОМ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ**

Специальность: 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов
и электрификация

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Петров Геннадий Иванович

Москва – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ ВЕЛИЧИНЫ ГАРАНТИЙНОГО УЧАСТКА ПУНКТА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ.....	12
1.1 Пути повышения эффективности железнодорожного транспорта.....	12
1.2 Основные функции вагонного хозяйства.....	16
1.3 Действующая система технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов на железных дорогах Российской Федерации..	19
1.4 Протяжённость гарантийных участков пункта технического обслуживания грузовых вагонов на железнодорожном транспорте.....	24
1.5 Анализ эксплуатации тормозного оборудования грузовых вагонов в современных условиях.....	29
1.6 Краткий обзор исследований, посвящённых расчётному обоснованию протяжённости гарантийного участка пункта технического обслуживания грузовых вагонов.....	37
1.7 Вывод по разделу 1.....	49
2 АНАЛИЗ ОТКАЗОВ ВАГОНОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ.....	52
2.1 Уточнение понятия безопасности вагона.....	52
2.2 Анализ ремонтпригодности тормозной системы вагонов.....	55
2.3 Древовидная модель аварийности грузового вагона.....	68
2.4 Дерево событий относительно схода вагона с рельсов.....	71
2.5 Формирование модели столкновения.....	79
2.6 Двухполюсная модель столкновения.....	104
2.7 Выводы по разделу 2.....	116
3 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЁТНОГО	

ОБОСНОВАНИЯ ПРОТЯЖЁННОСТИ ГАРАНТИЙНЫХ УЧАСТКОВ ПТО ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ.....	118
3.1 Теоретическая модель обеспечения безопасности движения грузовых вагонов на гарантийном участке.....	118
3.2 Вербальная модель процесса выявления опасных повреждений вагонов в условиях эксплуатации.....	123
3.3 Математическая формулировка задачи.....	126
3.4 Вывод выражения целевой функции оптимизационной задачи...	129
3.5 Вывод по разделу 3.....	137
4 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИНЫ ГАРАНТИЙНОГО УЧАСТКА ПТО НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С УЧЁТОМ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ПОЕЗДА.	138
4.1 Параметр безопасности вагона.....	138
4.2 Обоснование функции распределения наработки до появления опасного отказа.....	142
4.3 Выбор плана испытания на надёжность.....	142
4.4 Точечные оценки параметров закона распределения наработки до опасного отказа деталей вагонов.....	144
4.5 Определение интенсивности отказов элементов тормозной системы вагона.....	155
4.6 Оценка параметра безопасности вагона.....	163
4.7 Определение протяжённости гарантийного участка пути.....	165
4.8 Выводы по разделу 4.....	168
5 РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ГАРАНТИЙНОГО УЧАСТКА ПТО.....	169
5.1 Повышение качества работы осмотровиков вагонов.....	169
5.2 Повышение квалификации осмотровиков вагонов.....	176
5.3 Повышение качества плановых ремонтов.....	181
5.4 Повышение надёжности ответственных элементов вагонных	

конструкций.....	184
5.5 Выводы по разделу 5.....	187
6 ТЕХНОЛОГИИ НОРМИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ГАРАНТИЙНЫХ УЧАСТКОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ.....	189
6.1 Технология информационного взаимодействия при организации безопасного проследования поездов по гарантийным участкам.....	189
6.2 Технология управления показателем безопасности вагона.....	197
6.3 Вывод по разделу 6.....	200
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	201
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	204
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	207
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	216
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	217

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время важнейшими направлениями в развитии вагонного комплекса являются ускорение грузооборота грузовых вагонов, за счет повышения статической нагрузки и массы поездов. Одним из основных способов повышения маршрутных скоростей поездов является увеличение гарантийных участков, расчётного обоснования периодичности технического обслуживания на пунктах технического обоснования, с учетом обеспечения безопасности движения поездов. При этом повышение безопасности движения поездов на сегодняшний день является важной составляющей эффективной работы и развития железнодорожного транспорта. В современных условиях решение проблемы по обеспечении безопасности движения поездов и сохранности перевозимых грузов, во многом определяется техническом состоянии вагонного парка и периодичностью его технического обслуживания на пунктах технического обслуживания (ПТО).

Проводимая на сегодняшний день мероприятия по обеспечения безопасности движения поездов и увеличению периодичности технического обслуживания, а именно техническое оснащение пунктов технического обслуживания грузовых вагонов, внедрение современных автоматизированных средств диагностирования и контроля технического состояния подвижного состава на ходу поезда, не приносят допустимых результатов, это обосновывается тем, что количество задержек поездов из-за отказов грузовых вагонов сохраняется на высоком уровне.

Таким образом, наиболее актуальной проблемой становится, задача определением величины гарантийного участка пункта технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов с учётом необходимости контроля работы тормозной системы поезда.

Актуальность темы исследования. Для повышения качества функционирования железнодорожного транспорта Российской Федерации, повышения производительности труда перед транспортной наукой поставлена

задача обеспечить увеличение протяжённости безостановочного движения поездов и увеличить маршрутную скорость доставки грузов. Её решение возможно при реализации согласованных мероприятий в локомотивной, вагонной службах, а также службе движения. При этом основное требование эксплуатации железнодорожного транспорта – это безусловное обеспечение безопасности движения поездов. В настоящее время каждое третье крушение поезда и авария происходят из-за отказов вагонов, что свидетельствует о существующих проблемах в вагонном комплексе, которые неминуемо обострятся при увеличении пробега грузового вагона без остановок на техническое обслуживание. Диссертационная работа направлена на разработку методики расчётного обоснования гарантийного участка для пунктов технического обслуживания грузовых вагонов, учитывающей существующий уровень безопасности движения на железнодорожном транспорте.

Степень разработанности темы исследования. Проблемам обеспечения безопасности движения в вагонном комплексе посвящены научные работы учёных и изобретателей по следующим основным направлениям:

разработка вагонных конструкций: Котуранов В.Н., Филиппов В.Н., Болотин М.М., Анисимов П.С., Петров Г.И., Лукин В.В., Бороненко Ю.П., Кобищанов В.В. [4, 26, 32, 36, 65, 71] и др;

научные исследования по проблемам безопасности движения и механики подвижного состава: Петров Г.И., Хусидов В.Д., Шамаков А.Н., Виннлик Л.В. [66, 68, 69] и др;

проблемы технической диагностики и средств неразрушающего контроля: Лукашук В.С., Криворудченко В.Ф., Мотовилов К. В., Петров А.А. [43] и др;

научные исследования по оценке показателей надёжности и безопасности подвижного состава, вагонов и их элементов: Устич П.А., Карпычев В.А., Овечников М.Н., Воробьёв А.А., Горский А.В., Сердобинцев Е.В., Савоськин А.Н. [10, 52, 53, 60] и др;

научные исследования по проблемам организации и управления техническим состоянием вагонов в эксплуатации, систем технического

обслуживания и ремонта: Устич П.А., Иванов А.А., Митюхин В.Б., Ивашов В.А., Орлов М.В., Гурский Е.П., Мартынюк Н.Г., Райков Г.В., Ступин А.П., Сендеров Г.К., Вологодина Л.Б. [6, 14, 22, 42, 50, 54, 57] и др.

В машиностроении по данной тематике исследование выполнил Коллегаев Р.Н. [30] и его школа.

Кроме того, в этом направлении исследования проводились в научно-исследовательских институтах, таких как ГОСНИИВ, ВНИКТИ, ВНИИЖТ и др. Во ВНИИЖТе исследования по разработке обоснования увеличения гарантийных участков пунктов технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов проводили Мартынюк Н.Г., Райков Г.В., Ступин А.П. [50] и др.

Как показал анализ выполненных исследований, многие специалисты предлагают решение задачи обоснования гарантийных участков в детерминированной постановке, не учитывая вероятностный характер деградационных процессов элементов вагонных конструкций. При использовании подходов, основанных на теории надёжности, вводят в рассмотрение только показатели безотказности, однако на периодичность контролей технического состояния вагонов в эксплуатации оказывает качество функционирования системы управления техническим состоянием, а также своевременного обнаружения опасных отказов элементов конструкции. При использовании в решении упомянутой задачи показателей безопасности вагонов использована только вероятностная модель схода вагона с рельсов, в то время как ещё одной причиной крушений может стать столкновение, происходящее, в частности, из-за отказа тормозной системы поезда. Кроме того, в настоящее время недостаточно полно используют возможности существующих отраслевых информационных систем, а информация об отказах и их последствиях собирается в разрозненных базах данных различных уровней. Анализ отраслевой информации, а также выполненных исследований позволяет сформулировать проблемы и решать задачу повышения эффективности работы железнодорожного транспорта при безусловном обеспечении надёжности и безопасности вагонных конструкций в эксплуатации с учётом существующего требования увеличения периодов между

контролями технического состояния грузовых вагонов на пунктах технического обслуживания. Таким образом, выполненные ранее работы по решению проблемы обеспечения безопасности движения на гарантийном участке пункта технического обслуживания вагонов позволили сформулировать цели и задачи диссертационной работы.

Цель и задачи исследования. Разработать и с учётом цифровизации реализовать в отрасли концепцию обеспечения безопасной эксплуатации вагонов грузового парка. Целью работы является обоснование гарантийного участка пункта технического обслуживания грузовых вагонов на основе вероятностной математической модели с учётом оценки технического состояния тормозной системы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: анализ ремонтпригодности элементов тормозной системы грузового вагона применительно к текущему техническому содержанию; на основе уточнённых понятий и количественных показателей безопасности объекта разработка математической модели аварийности грузового вагона с учётом технического состояния тормозной системы; разработка методики построения расчётной схемы вагона для оценки показателя его безопасности, включая элементы тормозной системы; разработка методов сбора информации об опасных отказах вагонов рассматриваемого типа и получение вероятностных моделей отказов; оценка на примере вагонов рассматриваемого типа показателей безотказности ответственных элементов конструкции и тормозной системы; на основе сформулированной модели работы пункта технического обслуживания для вагонов рассматриваемого типа получить оптимальной нижней оценки гарантийного участка; с помощью приведённой методики исследование влияния на её величину различных параметров работы вагонного комплекса; разработка отраслевой информационной технологии, направленной на обеспечение контроля гарантийных участков при движении поездов.

Научная новизна. Научная новизна заключается: в предложении применения в качестве показателя безопасности вагона величины периодичности

контроля технического состояния вагонов на пунктах технического обслуживания для управления рисками на железнодорожном транспорте; в разработке методики и построении расчётной схемы вагона для оценки его безопасности с учётом технического состояния тормозной системы.

Теоретическая значимость работы. Теоретическая значимость заключается в разработке расчётной схемы поезда для оценки предрасположенности его к столкновению из-за отказа тормозной системы; уточнении расчётной схемы вагона относительно схода вагонов с рельсов; применении частной теоремы о повторении опытов при оценке вероятности отказа тормозной системы поезда; формировании математической модели аварийности грузового вагона.

Практическая значимость работы. Практическая значимость диссертации заключается в том, внедрена разработанная технология информационного взаимодействия автоматизированных систем ОАО «РЖД» при организации безопасного проследования поездов по гарантийным участкам, технология управления показателем безопасности грузового вагона на железнодорожном транспорте, с помощью разработанной методики оптимизации гарантийного участка пункта технического обслуживания вагонов можно определять направления развития и объёмы выделяемых средств для его повышения. Определены направления исследований и эффективность мероприятий, направленных на повышение периода между контролями технического состояния грузового вагона. Сформулированы предложения по совершенствованию информационной базы данных к задачам обеспечения безопасной эксплуатации каждого вагона.

Методология и методы исследования. В диссертации использована методология системного подхода к управлению техническим состоянием грузовых вагонов. При разработке методики использованы принципы системности и оптимальности. Для решения поставленных задач применялись методы теории вероятностей, теории надёжности, решения минимаксных задач: метод дерева событий для построения моделей аварийности вагона, схода с

рельсов, а также модели столкновения из-за отказа тормозной системы поезда; метод минимальных сечений для получения двухполюсных схем и вероятностных моделей схода вагонов с рельсов, столкновения поезда из-за отказа тормозной системы и аварийности вагона; частная теорема о повторении опытов при оценке надёжности зарезервированной части тормозной системы поезда; метод проведения испытаний на надёжность; метод максимального правдоподобия для получения точечных оценок параметров вероятностных моделей опасных отказов при неполных и сильно усечённых выборках; метод проверки правдоподобия гипотез; метод анализа ремонтпригодности вагонов при текущем техническом содержании.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

результаты анализа ремонтпригодности элементов тормозной системы вагона при текущем техническом содержании; методика построения и модель аварийности вагона; методика формирования исходных данных для получения вероятностных моделей отказов, входящих в модель аварийности; методика получения вероятностных моделей опасных отказов; методика получения нижней оценки периодичности проведения глубоких диагностик вагона в стационарных условиях вагонных депо с учётом тормозной системы вагона; вербальная модель работы осмотрщиков вагонов пунктов технического обслуживания; методика оптимизации периодичности контроля технического состояния вагонов на пунктах технического обслуживания и её нижняя оценка; мероприятия и способы повышения гарантийных участков до требуемого уровня; технология обеспечения безопасности движения на гарантийных участках; технология информационного взаимодействия автоматизированных систем ОАО «РЖД» при организации безопасного проследования поездов по гарантийным участкам.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов расчётов обеспечивается корректным использованием методов теории вероятностей и теории надёжности, обоснованием используемых вероятностных моделей опасных отказов и получением точечных оценок их параметров путём проведения сетевого эксперимента на базе системы

централизованного пономерного учёта грузовых вагонов ГВЦ ОАО «РЖД» в соответствии со стандартным планом испытаний на надёжность, анализом статистических данных по работе пунктов технического обслуживания вагонов Хабаровск и Находка, статистической информацией по случаям нарушений безопасности движения, а также за счёт корректного использования методов обработки неполных и сильно усечённых выборок, проверки согласованности полученных математических моделей отказов и результатов эксперимента.

Труды по теме диссертации и основные результаты выполненных исследований опубликованы в 7 печатных работах, имеющих теоретическую и практическую значимость, в том числе 3 работы – в рецензируемых научных периодических изданиях, включённых в перечень ВАК при Минобрнауки России для публикации результатов диссертационных работ, 4 – в отечественных рецензируемых журналах.

Основные положения диссертационной работы апробированы на шестом международном форуме «Безопасность на транспорте», десятой международной научно-практической конференции «Будущее транспорта России – 2018». Полученные результаты исследований обсуждались и докладывались на заседаниях кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ). Предложенная технология информационного взаимодействия автоматизированных систем ОАО «РЖД» при организации безопасного проследования поездов по гарантийным участкам, внедрена и используется на железнодорожном транспорте.

1 АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ ВЕЛИЧИНЫ ГАРАНТИЙНОГО УЧАСТКА ПУНКТА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

1.1 Пути повышения эффективности железнодорожного транспорта

Грузовой вагон является уникальной технической системой, имеющей обезличенную форму эксплуатации. Ни одно техническое средство (ни локомотив, электропоезд, пассажирский вагон, автомобиль, железнодорожный путь и т.п.) не имеет такой сложной формы эксплуатации. Перечисленные транспортные объекты закреплены за конкретным ремонтным или линейным предприятием, определённым полигоном обращения или маршрутом, могут сопровождаться обслуживающим персоналом.

В отличие от них для обеспечения бесперегрузочной перевозки грузов на всем полигоне сети железных дорог грузовой вагон не приписан к конкретному полигону эксплуатации, т.е. используется в перевозочном процессе обезличено, что позволяет повысить эффективность перевозочного процесса и сократить непроизводительные порожние пробеги. При такой организации использования грузового вагона отсутствует возможность его закрепления за конкретным ремонтным предприятием (приписки к линейному предприятию), которое осуществляло бы его техническое обслуживание, диагностику и ремонт. Эта особенность эксплуатации грузовых вагонов требует особого подхода к организации обезличенной системы технического обслуживания и ремонта.

В современных условиях рациональное размещение на сети железных дорог предприятий для ремонта и технического обслуживания вагонов является одной из важнейших задач, стоящей перед транспортной наукой. Этот вопрос значительно проще решается относительно размещения предприятий для планового ремонта вагонов, к которым относятся вагоноремонтные заводы и вагонные ремонтные депо. Их желательнее всего размещать в крупных железнодорожных узлах и пунктах массовой погрузки или выгрузки вагонов.

Гораздо сложнее задача рационального размещения пунктов технического обслуживания (ПТО), персонал которых должен вовремя выявлять опасные повреждения грузовых вагонов, находящихся в рейсе и проводить, в случае необходимости, работы по поддержанию или восстановлению их работоспособности на всем полигоне сети железных дорог. Эта задача сложнее, речь идет ни много ни мало о важнейшем показателе эффективности железнодорожного транспорта (ЖДТ) в целом – его производительности.

На самом деле, для увеличения объема перевозок, необходимо значительное увеличение маршрутных скоростей движения и веса поездов. Этот задача разрешима, если такие хозяйства как пути, локомотивное, движения и др. разработают и реализуют согласованные мероприятия для реализации поставленной задачи.

Мощность локомотивного хозяйства ещё в советское время достигла требуемого уровня. Не являются в целом ограничением показатели качества верхнего строения пути. Однако формы организации перевозочного процесса не претерпели серьёзных изменений в положительном направлении. И это в то время, когда имеет место огромный разрыв между маршрутной (примерно 10,5 км/ч), участковой (32 км/ч) и технической (43,4 км/ч) скоростями движения грузовых вагонов.

Встаёт вопрос. Какова основная причина того, что грузовые вагоны перемещаются по сети со скоростью 7-10 км/ч? Ответ на этот вопрос был найден ещё в конце восьмидесятых годов прошлого века. На самом деле, за рейс (средней протяженности 1136 км) вагон в среднем проходит 12 технических станций, из них четыре – сортировочные. Следовательно, грузовой вагон в среднем перерабатывается через каждые 130 км на технических и через 400 км – на сортировочных станциях [63].

Таким образом, железнодорожные станции являются основным препятствием в движении поездов. Поэтому ещё руководство МПС СССР поставило задачу: увеличить пробег поездов без переработки на станциях до 1000 км. Для этого предлагалось:

- разработать новые технологии формирования поездов, при которых для большинства из них не требовались бы переработки на технических станциях в течение рейса (задача службы движения);

- увеличить гарантийный безостановочный пробег поездов в 4-5 раз (задача вагонного хозяйства).

Только в случае положительного решения задачи специалистами вагонного хозяйства имеет смысл решать задачу, поставленную перед работниками службы движения.

Итак, увеличение маршрутных скоростей движения поездов, а также повышение производительности труда на ЖДТ, в основном зависит от работников службы вагонного хозяйства, так как именно им следует увеличить без ущерба для безопасности движения гарантийные плечи ПТО в четыре раза.

Однако существует второе упомянутое выше условие повышения эффективности работы ЖДТ – повышение веса поездов. На рисунке 1.1 представлены основные факторы, влияющие на повышение веса поездов.

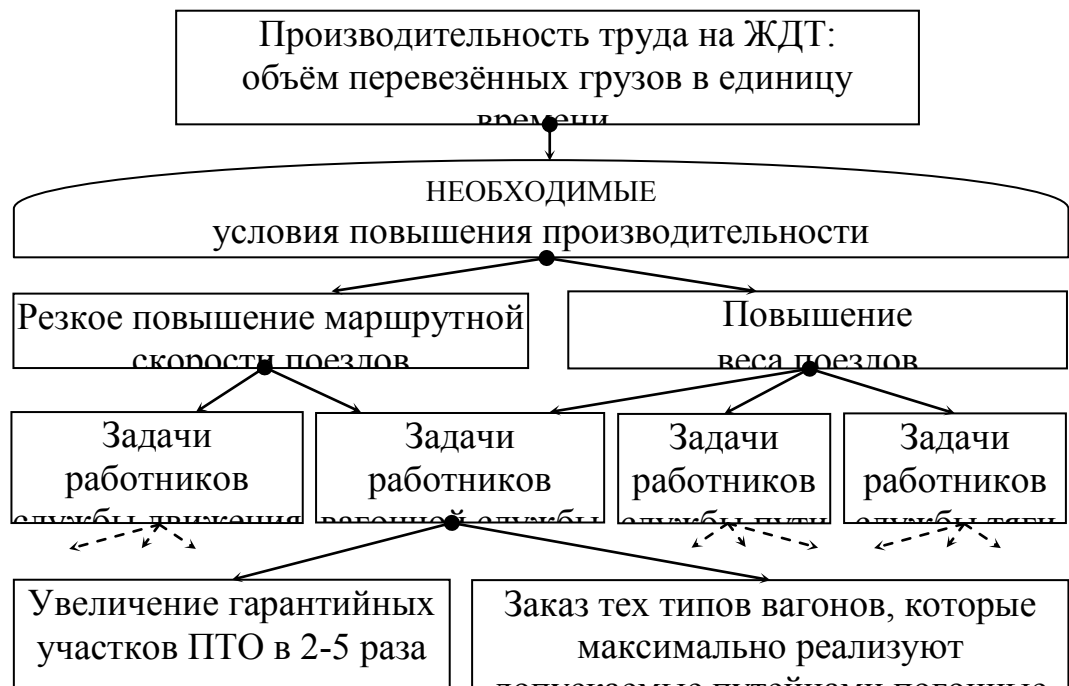


Рисунок 1.1 – Основные мероприятия для увеличения производительности труда железнодорожного транспорта

В работах сотрудников МИИТа кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» было показано, что наращивание веса поездов за счёт увеличения погонной нагрузки является наиболее перспективным с точки зрения замедления деградации самого фондоемкого элемента ЖДТ – верхнего строения пути.

Вместе с тем, под руководством профессора Л.А. Шадура были разработаны конструкции восьмиосных цистерн и полувагонов – важное техническое средство реализации повышенных погонных нагрузок. Так, в поезде, составленном из восьмиосных полувагонов, можно перевезти на сорок три процента больше угля, чем в поезде равной длины, сформированном из современных четырехосных полувагонов. Аналогичный эффект получали при использовании в перевозочном процессе восьмиосных цистерн, серийный выпуск которых продолжительное время был налажен на Ждановском вагоностроительном заводе (Мариупольский вагоностроительный завод, Украина).

Тем не менее, так и не было налажено серийное производство восьмиосных полувагонов, и свернут выпуск восьмиосных цистерн. Тем самым был упущен шанс в значительной степени повысить уровень производительности труда на ЖДТ ещё с 60-70 гг. прошлого века.

Итак, для повышения веса нетто поездов необходимо пополнять парк вагонов в первую очередь восьмиосными полувагонами и цистернами, с помощью которых максимально реализуются допустимые путевыми погонные нагрузки.

Заметим только, что для успешной реализации этой рекомендации необходимо наилучшим образом «вписать» эти вагоны в эксплуатационную среду. Для этого в настоящее время представляется возможным воспользоваться методологией гармонизации (относительно наперед заданного критерия) параметров конструкции вагона и эксплуатационной среды, в которой он будет использоваться по назначению, ремонтироваться и технически обслуживаться в течение нескольких десятков лет [20].

Также конкретно требуется сформулировать рекомендации специалистов-вагонников, направленные на повышение маршрутных скоростей поездов, путём научно обоснованного увеличения безостановочного пробега вагона. Для этого

необходимо располагать методикой расчётного обоснования протяжённости гарантийного участка ПТО вагонов. Только тогда появится возможность предъявить чёткие требования к уровню надёжности конструкции вагонов в виде риска крушения поезда, контролепригодности вагонных конструкций, квалификации и материальной мотивации осматривщиков, периодичности деповских ремонтов и т.п., с тем, чтобы обеспечить беспроблемное увеличение гарантийных участков ПТО вагонов в 2-5 раз.

В самом деле, при увеличении гарантийных плеч производительность труда на ЖДТ из-за роста маршрутной скорости движения поездов будет повышаться, но при прочих равных условиях уровень безопасности на транспорте будет понижаться. Если же уменьшается величина гарантийных участков ПТО, то безопасность движения будет увеличиваться, а производительность труда уменьшаться. Другими словами, негативные последствия существуют и с той, и с другой стороны. Таким образом, без научного обоснования величины гарантийных участков, как видно, не обойтись.

Следует отметить, что к обоснованию вышеуказанной рекомендации для расчётного обоснования протяжённости гарантийного участка ПТО грузовых вагонов необходимо подойти, соблюдая принципы системности и оптимальности, так как при научно необоснованном изменении гарантийных участков в ту или иную сторону, могут возникнуть негативные последствия для железнодорожного транспорта в целом.

1.2 Основные функции вагонного хозяйства

Важнейшей составляющей функционирования ЖДТ является обеспечение безопасности движения поездов, которое во многом зависит от технического состояния вагонного парка и системы его технического обслуживания и ремонта. Задачи поддержания работоспособности вагонов на железнодорожном

транспорте, а также обеспечение бесперебойного и безопасного движения поездов возложены на вагонное хозяйство.

Вагонное хозяйство (ВХ) как важнейшая самостоятельная составная часть железнодорожного транспорта сформировалась в 1933 г., основные фонды которого составляют пятую часть основных фондов железнодорожного транспорта [12]. На сети отечественных железных дорог это хозяйство включает в себя территориально рассредоточенные на сети железных дорог Российской Федерации линейные производственные предприятия: пункты технической передачи вагонов на подъездные пути предприятий (ПТП), контрольные посты (КП), промывочно-пропарочные станций по подготовке цистерн под налив (ППС), пункты подготовки вагонов к перевозкам (ППВ), механизированные пункты ремонта вагонов (МПРВ), вагоноколёсные мастерские (ВКМ), эксплуатационные вагонные депо (ВЧДЭ), вагонные ремонтные депо (ВЧДР), вагоноремонтные заводы (ВРЗ), которые основываясь на единую отраслевую нормативно-техническую документацию (НТД), осуществляют контроль технического состояния, техническое обслуживание и ремонт грузовых вагонов.

При этом на ВХ возложено пять следующих функций [57]:

- своевременное обнаружение повреждений и отказов вагонов в условиях эксплуатации для обеспечения безопасности движения (функцию выполняют работники ПТО ВЧДЭ);
- техническое обслуживание и текущий ремонт вагонов в пути следования – поддержание работоспособности при использовании вагона по назначению (функцию выполняют работники участков текущего ремонта и ПТО ВЧДЭ);
- ремонт вагонов крупного объёма и техническая ревизия важнейших их агрегатов (функцию выполняют ВЧДР);
- подготовка вагонов к перевозкам (функцию выполняют на пунктах подготовки вагонов к перевозкам (ППВ, ППС) и ПТО ВЧДЭ);
- разработка технических требований, заказ и приобретение новых конструкций вагонов, модернизация и исключение устаревших моделей из инвентарного парка (функция собственников вагонов).

Первоочередной задачей эксплуатационного комплекса вагонного хозяйства является бесперебойное обеспечение перевозочного процесса исправным и работоспособным подвижным составом. При этом, решение этой задачи должно быть не только финансово экономным, но и обеспечивать поддержание допустимого уровня качества ремонта и безопасности движения на приемлемом уровне в процессе эксплуатации вагона. Необходимым условием решения этой задачи является разработка мероприятий, направленных на совершенствование системы технического обслуживания и ремонта (система ТОиР) вагонов, расчётное обоснование протяжённости гарантийных участков следования грузовых поездов, позволяющих повысить производительность труда на ЖДТ и уменьшить эксплуатационные расходы.

Управление таким сложным объектом, как ВХ, имеет основные и специфические функции, которые направлены на обеспечение безопасности движения.

Несмотря на внедрение современных стационарных систем контроля технического состояния вагонов при непосредственном использовании их по назначению, возникающие отказы приводят к задержкам вагонов на ПТО, увеличению срока доставки грузов, нарушению графика движения поездов и условий перевозочного процесса, и, кроме того, могут стать причиной событий с более существенными последствиями, т.е. крушений и аварий.

Причины подобного положения дел заключаются в следующем:

- ограниченная или низкая контролепригодность некоторых ответственных элементов конструкции вагона;
- существующие автоматизированные системы контроля технического состояния ориентированы на выявление только части возможных контролируемых в эксплуатации отказов, а осмотрщики вагонов на ПТО не вооружены переносными техническими средствами обнаружения наиболее опасных повреждений и вынуждены полагаться, в основном, на органолептические методы обнаружения повреждений – зрение, слух, осязание и обоняние;

- дефицит времени, которое отпущено графиком обработки составов на станциях.

Если к этому еще добавить случаи, когда осмотрщик работает в ночное время суток и в неблагоприятных погодных условиях, то вполне объяснима вероятность брака в его работе, т.е. вероятность не обнаружения имеющегося на вагоне отказа. Одновременно с этим осмотрщик может нести уголовную ответственность в случае крушения и аварий поезда.

Причина этому обусловлено противоречием между возможностями осмотрщика обеспечивать стопроцентное безаварийное проследование вагонов по гарантийному участку ПТО (участку до очередного контроля технического состояния вагона осмотрщиком на ПТО, следующего по ходу поезда) и его ответственностью (подчас уголовной) в случае крушения поезда из-за необнаруженного повреждения.

Разрешение вышеотмеченной проблемы состоит в следующем. С одной стороны, следует совершенствовать действующую систему ТОиР вагонов, повышать квалификацию осмотрщиков, разрабатывать новые тестовые методы и технологии проверки работоспособности наиболее проблемных узлов вагона, разрабатывать и внедрять переносные диагностические технические приборы и т.п. А с другой – повышать требования к показателям надёжности, контроле– и ремонтпригодности новых вагонных конструкций.

1.3 Действующая система технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов на железных дорогах Российской Федерации

Система ремонта вагонов является частью более сложной системы железнодорожного транспорта, которая включает в себя элементы (предприятия по техническому обслуживанию и ремонту вагонов) и структуру. Структура этой системы сложилась исторически и отражает особенности общей экономической системы и общего уровня развития техники в стране.

В соответствии с переходом страны к рыночной экономике в процессе коренных преобразований на рынке образовались коммерческие компании собственники вагонов, корпорации по производству вагонных конструкций, а также предприятия по их техническому обслуживанию и ремонту. Однако конструкции вагонов, а также система ремонта вагонов изменяются сравнительно медленно.

Предприятиями вагонного хозяйства накоплен большой опыт технического обслуживания вагонов. По мере совершенствования конструкции система ТОиР вагонов неоднократно изменялась: изменялись компоненты, сроки проведения и др. Этот процесс продолжается до сих пор. Это обосновывается тем, что произошли изменения в конструкции грузовых вагонов, разрабатываются и внедряются на железной дороге новые средства технической диагностики [57].

Обеспечение надёжности и работоспособности вагона при использовании его по назначению поддерживается принятой системой ТОиР. Однако потеря потребительских свойств вагона в период использования вагона по назначению – неизбежный процесс, протекающий с большей или меньшей интенсивностью в зависимости от эксплуатации, долговечности материалов, применяемых в конструкции, достигнутого уровня обеспечения сохранности вагона при погрузочно-разгрузочных и маневровых работах. Чем жёстче условия эксплуатации, тем ускоренно физически изнашивается грузовой вагон. В результате это приводит к необходимости исключения вагона из инвентарного парка как неспособного выполнить свои функции, а для восстановления потребительских свойств предусмотрены ремонты малого или крупного объёма.

В настоящее время на железнодорожном транспорте существуют два принципа постановки вагонов ремонт:

- принцип непланово-аварийный заключается в том, что после отказа вагона восстанавливают его работоспособность;
- принцип плановости предполагает, что проведение указанных технических воздействий осуществляется по специальному графику с заданными объёмами работ в назначенные сроки. Работы по техническому обслуживанию в любом

случае планируются в соответствии с нормативно-технической документацией.

Работоспособное состояние вагона поддерживается за счёт системы ремонта, которая представляет собой совокупность технических средств, документации и исполнителей [50].

Основное назначение системы ТОиР – максимальное сокращение числа внезапных отказов грузовых вагонов в эксплуатации и отнесение предельного срока физического износа вагонов на более длительный срок за счёт своевременного технического контроля, технического обслуживания и ремонта.

В настоящее время основным документом, регламентирующим систему ТОиР грузовых вагонов независимо от формы их собственности, является Положение о системе технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, допущенных в обращение на железнодорожные пути общего пользования в международном сообщении [47]. В нём предусмотрены следующие виды технического обслуживания и ремонта (таблица 1.1).

В документе периодичность постановки вагонов в деповской ремонт установлены по следующим критериям:

- по единичному – календарной продолжительности эксплуатации вагона;
- комбинированному – устанавливающему периодичность в единицах километровой наработки, но не позднее установленного срока по календарю.

Согласно установленным критериям, вагон попадает в ремонт в заранее назначенные период времени (или пробега), независимо от своего фактического технического состояния, либо при переходе в предельное состояние.

В отношении действующей системы ТОиР можно выделить несколько актуальных недостатков. Основной недостаток состоит в том, что вагоны ставятся в ДР вне зависимости от того, требуется ли ремонт или не требуется, т.е. действующая система ТОиР является низкоэффективной. Это обосновывается тем, что вагон может не участвовать в перевозочном процессе, но по истечении установленного межремонтного периода всё равно должен быть подан в очередной плановый ремонт.

Таблица 1.1 – Виды работ по техническому обслуживанию и ремонту грузовых вагонов

Основные компоненты	Техническое обслуживание	Техническое обслуживание с диагностированием	Текущий отцепочный ремонт	Деповской ремонт	Капитальный ремонт	Капитальный ремонт с продлением срока службы
Сокращенное обозначение	ТО	ТОД	ТР-1 при подготовке к перевозкам; ТР-2 в пути следования	ДР	КР	КРП
Стратегии осуществления	Плановая	Неплановая	Неплановый аварийный ремонт	Плановый ремонт		
Периодичность проведения	На каждом ПТО в пути следования (гарантийные участки ПТО от 600 км)	Периодичность не установлена	Периодичность не устанавливается	Установлена периодичность по календарю или пробегу	Установлена периодичность по календарю	
Стратегия ремонта регламентированы Документом	Регламентированный (Правила технической эксплуатации (ПТЭ))	Регламентированный (Положение о техн. обслуж. грузовых вагонов с диагностированием. Протокол от 6-7.05.2014 г. № 60	Регламентированный (Распоряжением ОАО "РЖД" № 2623р от 18.12.2009 г.)	Регламентированный (Распоряжением №2759 от 29.12.2012 г. ОАО «РЖД»)	Регламентированный (Распоряжение №2759 от 29.12.2012 г. ОАО «РЖД»)	Приказ ОАО «РЖД»

Существенным недостатком является то, что межремонтные пробеги не согласованы с нормативным сроком службы вагона, а также отсутствует расчётное обоснование установленных межремонтных периодов и его назначенного нормативного срока службы. Кроме того, нормативный срок службы (НСС) вагона в целом не соответствует срокам службы его ответственных узлов и деталей.

На сегодняшний день действующая система ТОиР вагонов регламентируется несколькими нормативными документами. Некоторая часть содержится в Распоряжении ОАО «РЖД» от 29.12.2012 г. №2759, а другая часть в руководствах по ремонту, инструкциях по эксплуатации и т.п., которые выпускались не одновременно и независимо друг от друга, не согласованно готовились различными коллективами учёных и специалистов. В таблице 1.1 представлено, какими документами регламентирована действующая система ТОиР вагонов.

Таким образом, какой бы эффективной ни была система ТОиР, она не в состоянии полностью устранить последствия физического и морального износа грузового вагона в процессе эксплуатации, но она может значительно сократить темпы их развития и тем самым обеспечить работоспособное и экономически выгодное состояние грузового вагона в течение его НСС.

На железнодорожном транспорте грузовой вагон на протяжении всего срока его эксплуатации требует периодического контроля технического состояния на ПТО и при проведении ремонтов крупного объёма. Проблемы организации технического обслуживания и технической диагностики особенно остро стоят в настоящее время перед ВХ, так как с ростом скоростей движения, безостановочного пробега, веса поездов и повышением осевой нагрузки, параметры подвижного состава достигли предельных значений, а последствия аварий приобретают более серьёзный и даже катастрофический характер.

Модернизацию системы технического обслуживания грузовых вагонов предлагается провести на основании приведенного анализа отказов вагонов на гарантийных участках и внеплановых отцепок в текущий ремонт с учетом

перехода ОАО «РЖД» от региональных принципов управления перевозочным процессом к планированию и организации движения поездов на полигонах сети [29].

Таким образом, в связи со сложившейся ситуацией на железнодорожном транспорте, становится актуальной задача – обоснование протяжённости гарантийного участка ПТО с учётом оценки технического состояния грузовых вагонов в эксплуатации, а также определение оптимального пробега между проведением технического обслуживания вагонов.

1.4 Протяжённость гарантийных участков пункта технического обслуживания грузовых вагонов на железнодорожном транспорте

Участки между техническими обслуживаниями вагонов на ПТО определялись расстоянием между станциями, на которых выполняли сортировочные работы или смену локомотива. На этом участке работники (осмотрщики вагонов) несут ответственность за безаварийное проследование вагонов в составе поезда. В настоящее время на железнодорожном транспорте существует тенденция роста грузоперевозок, повышения интенсивности использования вагонов. При этом директивно вводят новые гарантийные участки ПТО увеличенной протяжённости.

Основанием роста гарантийных участков называют проводимую работу по внедрению на железных дорогах новых автоматизированных методов контроля технического состояния грузовых вагонов [70], которые дублируют функции осмотрщиков вагонов, исключая тем самым человеческий фактор. Однако при этом количество задержек поездов из-за отказов тормозного оборудования сохраняется на высоком уровне. Это свидетельствует о необходимости совершенствования существующей системы контроля технического состояния вагонов на ПТО. Для этого сформулированы наиболее актуальные задачи [37]. В их числе:

- сокращение количества остановок поездов для проведения технического обслуживания вагонов в пути следования;
- снижение простоя подвижного состава по причине технических неисправностей, повышение надёжности, внедрение новых технологий по его обслуживанию, более широкое использование диагностических средств;
- повышение качества подготовки поездов в рейс с использованием ремонтных мощностей пунктов подготовки вагонов к перевозкам.

В период с 2008 по 2016 гг. в среднем длина гарантийных участков грузовых поездов была увеличена на 232 км и составила 1237 км (рисунок 1.2).



**Рисунок 1.2 – Динамика изменения длины гарантийных участков ПТО
за 2008-2016 гг.**

В соответствии с требованиями ПТЭ железных дорог Российской Федерации, утвержденных приказом Минтранса России от 21 декабря 2010 г. № 286, гарантийные плечи устанавливаются владельцем инфраструктуры. Поскольку вагонный парк передан коммерческим компаниям, не входящим в структуру ОАО «РЖД», то этим положением заложен разрыв связей в системе между изготовителями вагонов, собственниками с одной стороны и владельцем

инфраструктуры с другой. Последний, в принципе, может устанавливать любую величину плеч.

В настоящее время на сети железных дорог гарантийные участки разделяются по группам – на внутридорожные и междорожные, а также по типам – для груженых и порожних вагонов. На сети установлено 3057 гарантийных участков, в том числе 1541 междорожных и 1516 внутридорожных. Протяжённость гарантийных участков нередко превышает 900-1100 км [27] [28].

При введении удлинённых участков существенно изменяются технологии работы ПТО. Кроме того, совмещение начальных и конечных станций гарантийных участков, изменение технологии работы каждой станции в целях снижения простоя вагонов под техническим обслуживанием требует изменений технологий работы хозяйства перевозок и локомотивного хозяйства. А в ВХ – создание на начальных и конечных станциях гарантийных участков механизированных пунктов текущего отцепочного ремонта грузовых вагонов, внедрение напольных средств технической диагностики (таблица 1.2).

Контроль нагрева буксового узла колесных пар на железных дорогах осуществляется приборами безопасности КТСМ, которые позволяют осуществлять слежение за изменением рабочей температуры букс при движении вагона. Внедрение устройств КТСМ-02 позволило осуществить контроль инновационного подвижного состава с определением типа используемых подшипников в грузовом вагоне. Кроме того, это открытая система, позволяющая расширить её возможности подключением других систем (выявление дефектов поверхности катания, нижнего габарита, заторможенных колесных пар и др.) В настоящее время эксплуатируется 4165 комплектов. Среднее расстояние между линейными пунктами контроля на основных и грузонапряжённых направлениях составляет 24,8 км [35]. Подтверждаемость работы системы близка к 100 % [31]. В настоящее время ведётся разработка устройства следующего поколения КТСМ-03, имеющего более высокую надёжность при меньших затратах на внедрение и эксплуатацию.

Таблица 1.2 – Средства технического диагностирования грузовых вагонов в эксплуатации

Элемент	Тип	Диагностический параметр
Колесная пара	КТСМ-02К	Виброускорение рельса
	ДДК	Деформация шейки рельса
	Путевой индикатор юза колеса	Определяется положением магнитных меток
	КТСМ-02З	Деформация шейки рельса
	«КОМПЛЕКС»	Прокат; толщина, ширина обода; расстояние по внутренним граням колес; толщина гребня; диаметр колеса
	«Экспресс-Профиль»	Прокат; толщина, ширина обода; расстояние по внутренним граням колес; толщина гребня; диаметр колеса
Буксовый узел	КТСМ-02Б	Перегрев корпуса буксы
	УКСКБ	Положение корпуса буксы относительно шейки оси
Тележка	УНКР	Угол перекоса колесных пар относительно оси пути
	АСООД	Амплитуда и частота колебаний
	УКСПС	Волочение деталей и падение деталей на путь
Автосцепное оборудование	САКМА	Зазоры в контуре зацепления автосцепки
	АДУ	Выход головки автосцепки относительно ударной розетки
	УКСПС	Волочение деталей
Автотормозное оборудование	УЗОТ-РМ	Плотность тормозной сети, целостность тормозной магистрали, время отпуска тормоза
	УКТП	Плотность тормозной сети, целостность тормозной магистрали, время отпуска тормоза, давление воздуха в тормозной магистрали хвостового вагона
	КТСМ-02Т	Перегрев ступицы колеса
	КТСМ-02В	Нарушение нижнего габарита
	КТСМ-02Э	Параметр отношения температуры обода колеса к деформации шейки рельса
Кузов	КТСМ-02Г	Нарушение верхнего и бокового габарита

Для измерения геометрических технических параметров колесных пар грузовых вагонов на сети дорог введено в эксплуатацию 76 автоматизированных диагностических комплексов (КТИ), которые предназначены для своевременного выявления колесных пар с тонким гребнем, предельного её износа. Кроме того, на сети дорог внедрено 25 автоматизированных систем обнаружения грузовых вагонов с «отрицательной динамикой» (АСООД). За последнее время было

изменено программное обеспечение системы, применены новые лазерные датчики, что позволило повысить надёжность и практически повысить подтверждаемость выявленных показаний. Так, в 2012 г. по показаниям этих систем было отцеплено более 1100 вагонов, в основном из-за завышения фрикционного клина и несоответствия зазоров скользунов установленным нормативам [37].

Одновременно с развитием систем диагностики, на ПТО основных сортировочных станций внедрена единая технология технического обслуживания грузовых вагонов. Были разработаны и реализованы новые подходы к формированию смотровых бригад и разграничению между ними операций по осмотру и ремонту вагонов без изменения времени на техническое обслуживание и численности смотрового состава. С 1 июля 2013 г. внедрена усовершенствованная технология на 57 ПТО сортировочных станций. За это время число вагонов, отцепленных по технической неисправности от готовых поездов в парках отправления снизилось на 13,9 %, количество выявленных и устранённых неисправностей в обрабатываемых поездах увеличилось на 17,6 %, что способствовало сокращению отказов технических средств в пути следования на 29,8 %.

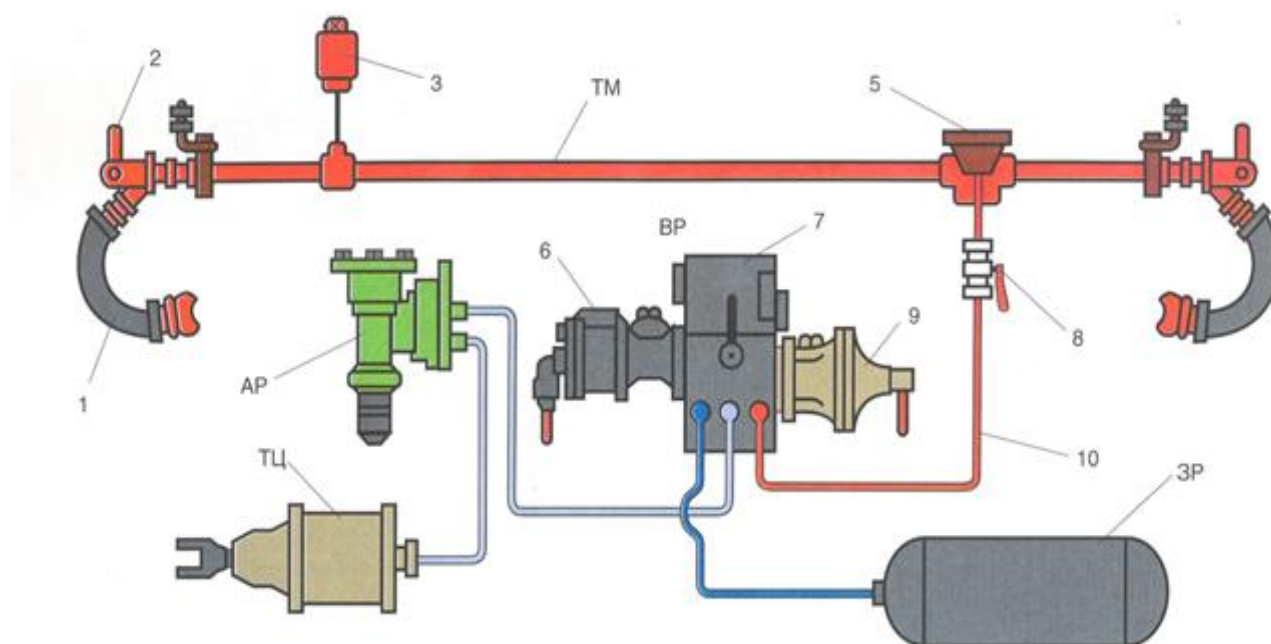
Эксплуатируемые на сегодняшний день современные системы автоматического контроля технического состояния подвижного состава, которыми оснащены сортировочные станции и перегоны, позволяют контролировать технические параметры отдельных элементов вагона, увеличивая вероятность выявления их предотказного состояния. Однако для тормозной системы в настоящее время отсутствуют технические средства, определяющие приближение тормозной системы вагона к неработоспособному состоянию [1].

Таким образом, для тормозной системы вагона отсутствуют автоматизированные системы, контролирующие приближение к неработоспособному состоянию. В сложившейся ситуации актуальной становится задача, непосредственно связанная с определением величины гарантийного участка пункта технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов с учётом

необходимости контроля работы тормозной системы поезда, а также периодичности контроля тормозов в процессе эксплуатации вагона.

1.5 Анализ эксплуатации тормозного оборудования грузовых вагонов в современных условиях

Работу тормозной системы обеспечивают пневматическая и механическая часть. Особенность пневматической части (рисунок 1.3) заключается в наличии устройств, которые распознают команды машиниста и преобразуют давление воздуха в усилие, передающееся через тормозную рычажную передачу на тормозные колодки.

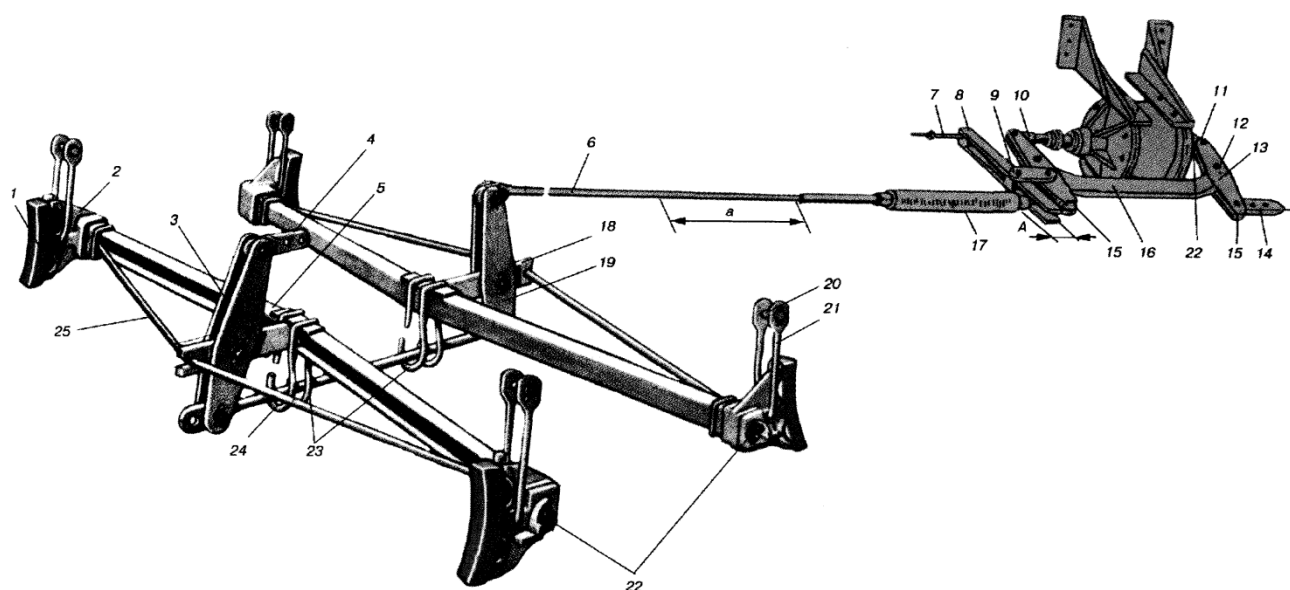


1 – соединительный рукав; 2 – концевой кран; 3 – стоп-кран; 4 – тормозная магистраль (ТМ); 5 – пылеулавливающая сетка (сетчатый фильтр); 6 – главная часть воздухораспределителя (ВР); 7 – двухкамерный резервуар; 8 – разобщительный кран; 9 – магистральная часть воздухораспределителя; 10 – подводящая трубка; ЗР – запасный резервуар; АР – авторежим; ТЦ – тормозной цилиндр

Рисунок 1.3 – Пневматическая часть тормозного оборудования четырёхосного типового грузового вагона с одним тормозным цилиндром

Механическая часть представляет собой систему рычагов и устройств (рисунок 1.4), которая позволяет обеспечить передачу и распределение усилий от

тормозного цилиндра к тормозным колодкам.



- 1 – тормозная колодка; 2 – подвеска башмака; 3 – вертикальный рычаг тележки; 4 – серьга; 5 – триангель; 6 – тормозная тяга; 7 – регулировочный винт; 8 – кулиса; 10 – шток тормозного цилиндра; 11 – кронштейн; 12 – горизонтальный рычаг вагона; 13 – регулировочные отверстия для затяжки горизонтальных рычагов; 14 – тяга; 15 – валик; 16 – затяжка горизонтальных рычагов; 17 – авторегулятор; 18 – распорка триангеля; 19 – вертикальный рычаг тележки; 20 – валик подвески триангеля; 21 – подвеска триангеля; 22 – башмак; 23 – предохранительная скоба; 24 – распорка вертикальных рычагов; 25 – струна триангеля

Рисунок 1.4 – Механическая часть тормозного оборудования четырёхосного грузового вагона с одним тормозным цилиндром

В настоящее время с повышением скоростей движения железнодорожного подвижного состава, а также грузоподъемности вагонов, увеличивается интенсивность работы тормозной системы вагона, возрастает темп износа в парах трения, что приводит к невыполнению требуемых функции.

Ненадёжность технических средств негативно влияет на эксплуатационную работу ЖДТ из-за задержек и остановок поездов, несоблюдения сроков доставки грузов и пассажиров, перевод вагонов в нерабочий парк и непроизводительный их простой на время расследования, выявления причин отказов и установления ответственности. Возникающие внезапные отказы на гарантийных участках в пути следования нарушают график работы дорог, угрожают безопасности

движения и требуют значительных ресурсов на организацию и выполнение восстановления работоспособности, включая временные.

В настоящее время для учёта, контроля отказов технических средств и анализа их надёжности ОАО «РЖД» использует систему КАС АНТ (Комплексная автоматизированная система учёта, контроля устранения отказов в работе технических средств и анализа их надёжности). Она предназначена для учёта случаев нарушений графика движения поездов, оперативного расследования причин, а также установления вины структурных подразделений, территориальных структурных дирекций, филиалов ОАО «РЖД».

Учёту подлежат все отказы в работе технических средств, в том числе приводящие к нарушениям безопасности движения при поездной и маневровой работе, а также результаты расследования причин нарушений безопасности движения при поездной и маневровой работе (в том числе и возникших из-за отказов в работе технических средств).

Под отказом понимается событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта [11].

В системе КАС АНТ в зависимости от последствий отказов в работе технических средств для ОАО «РЖД» введена следующая классификация отказов по категориям:

- отказы первой категории – отказы, приводящие к задержке поезда на перегоне (станции) на один час и более, либо приведшие к транспортным происшествиям или событиям, связанным с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта;
- отказы второй категории – отказы, приводящие к задержке поезда на перегоне (станции) продолжительностью от шести минут до одного часа;
- отказы третьей категории – отказы, не имеющие последствий, относящихся к отказам 1-й и 2-й категории, (учёт таких отказов производится первоначально в рамках автоматизированных систем управления хозяйствами) [49].

По данным системы на долю вагонного комплекса приходится почти четверть всех случаев отказов первой и второй категорий (рисунок 1.5).

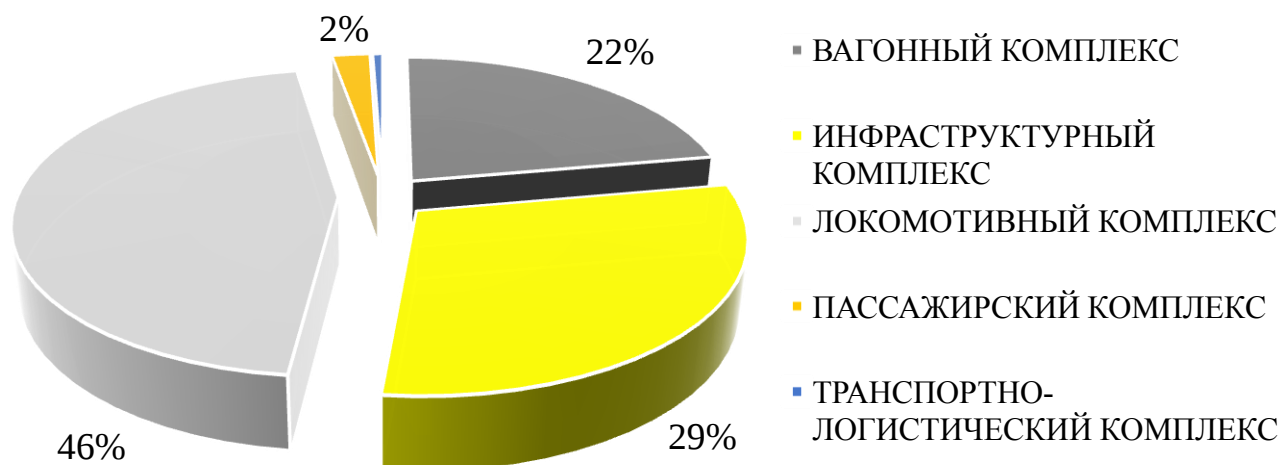


Рисунок 1.5 – Статистика всех отказов, зафиксированных в системе КАС АНТ по хозяйствам за 2018 год

Так, например, в период с 31 октября по 30 ноября 2016 г. на сети железных дорогах Российской Федерации системой КАС АНТ по вагонному комплексу зафиксировано 1066 случаев отказов в работе технических средств, в результате которых допущены сверхнормативные остановки и задержки грузовых поездов на один час и более (рисунок 1.6). В целом, согласно приведённой статистике, основная доля задержек вызвана неисправностями буксовых узлов (56 %) и тормозного оборудования (37 %).

На рисунках 1.7 и 1.8 приведены распределения отказов технических средств по категориям в течение месяца. Из рисунков следует, что наиболее характерными причинами отказов первой категории является отцепки вагонов из-за неисправности буксовых узлов, в том числе сдвиг букс, ослабление торцевого крепления на оси колесной пары, разрушение сепараторов и т.п.

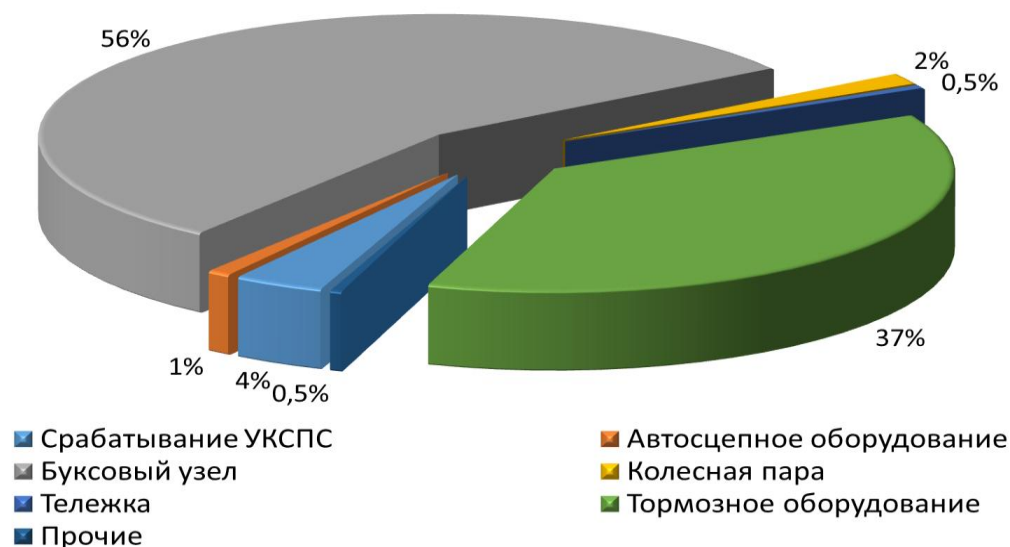


Рисунок 1.6 – Статистика отказов в системе КАС АНТ по грузовому вагону

А по второй категории большинство случаев задержек грузовых поездов происходит из-за тормозного оборудования, по причине отцепки грузовых вагонов по технической неисправности, самопроизвольное срабатывание тормозов, падение давления в тормозной магистрали, искрение поезда, неотпуск тормозов и т.п.

Необходимо также отметить, что при техническом обслуживании тормозного оборудования на пунктах технического обслуживания перед отправлением поезда в первую очередь проверяют:

- соединение рукавов ТМ, открытие концевых кранов между вагонами и разобщительных кранов на подводящих воздухопроводах от магистрали к ВР, а также надёжность их крепления;
- действие тормозов на чувствительность к торможению и отпуску;
- на вагонах с АР – соответствие выхода вилки авторежима загрузке вагона, положение и надёжность крепления контактной планки, опорной балки на тележке, авторежима демпферной части и реле давления на кронштейне;
- правильность регулирования тормозной рычажной передачи и действие автоматических регуляторов, выход штока тормозного цилиндра (с композиционными – 130 мм, с чугунными колодками – 175 мм).

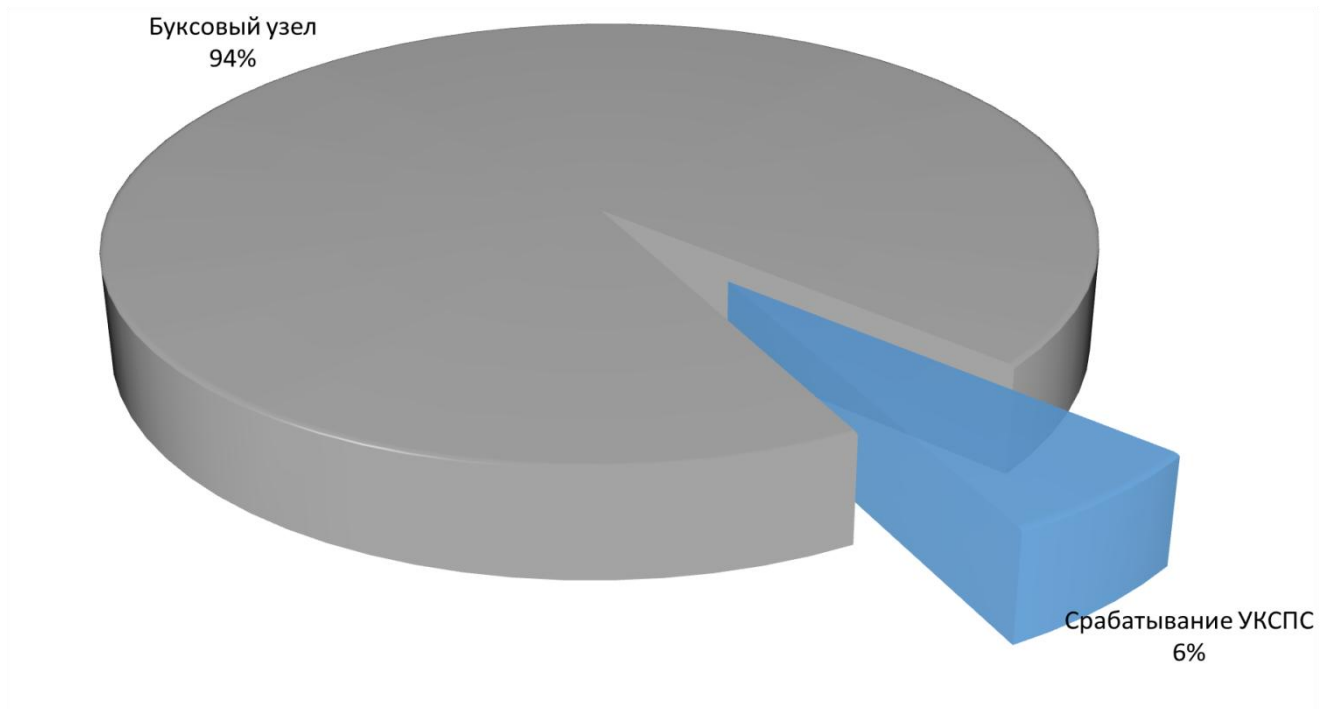


Рисунок 1.7 – Статистика отказов первой категории по неисправности грузового вагона

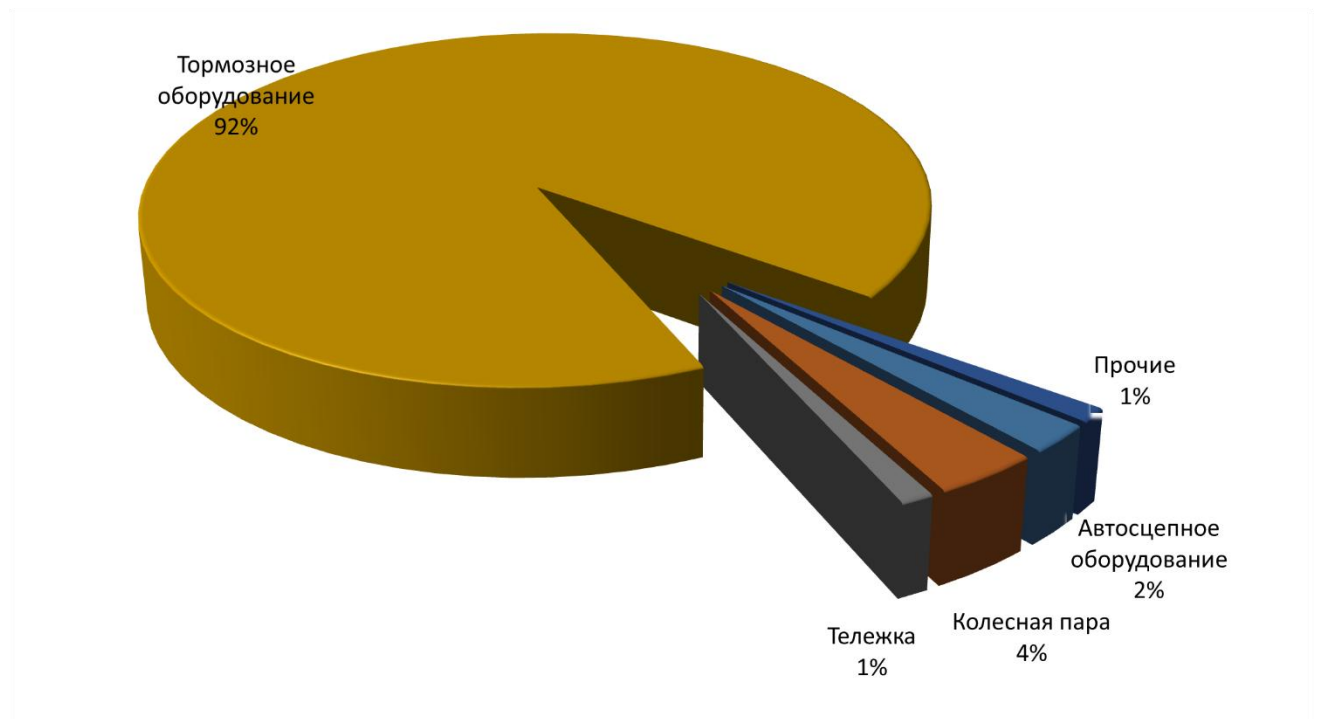


Рисунок 1.8 – Статистика отказов второй категории по неисправности грузового вагона

- толщину тормозных колодок и их расположение относительно поверхности катания колес (композиционных – 14 мм, чугунных – не менее 12 мм).

Так, например, из полученных данных системы централизованного пономерного учёта вагонов (ЦПУВ) на гарантийном участке Хабаровск-Находка в период с 31 октября 2016 г. по 30 ноября 2016 г. отцеплено 1614 вагонов по всем неисправностям (из них 17 % с неподтвержденными отказами и разбракованных) (рисунок 1.9.). По неисправности тормозного оборудования отцеплено 63 вагона, которые привели к задержке грузовых поездов (рисунок 1.10).

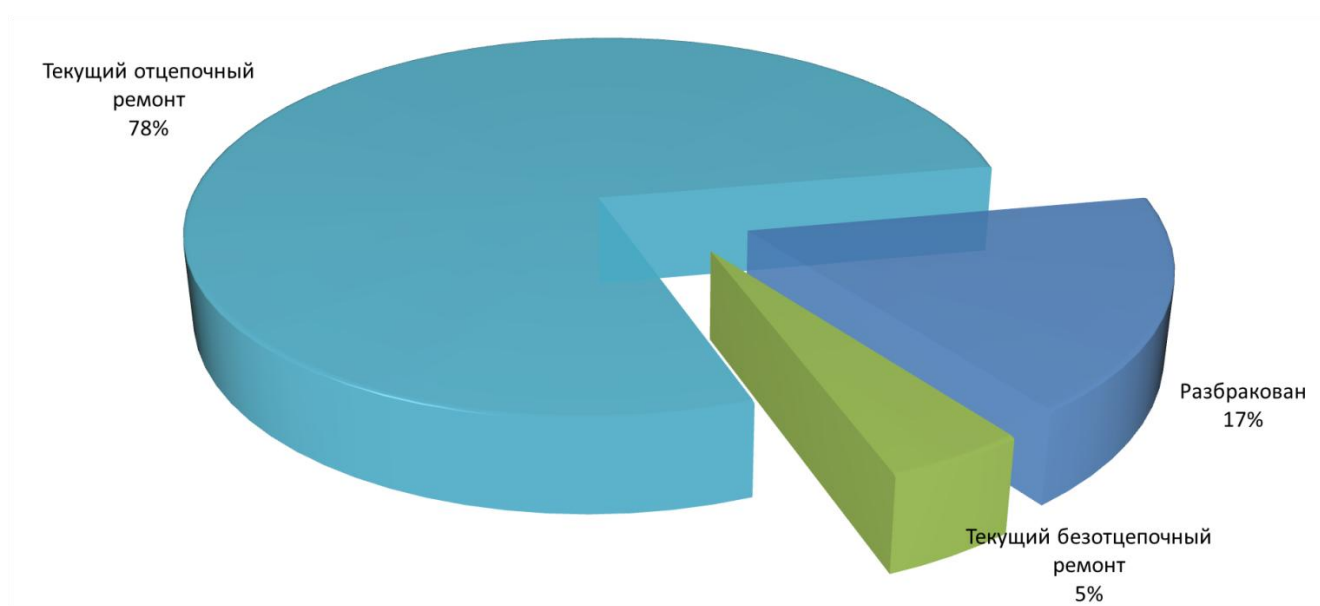


Рисунок 1.9 – Подтвержденная статистика задержек по системе КАС АНТ на гарантийном участке Хабаровск-Находка

Как показывают реальные эксплуатационные данные, большинство отцепок вагонов и задержек поездов из-за отказов в работе автотормозного оборудования происходит в результате трещин в резьбе или обрыва трубок, утечки воздуха в ТМ, неисправности ВР, срабатывания ВР на самоторможение и т.п.

Основными причинами отказов тормозного оборудования вагонов являются: неработоспособность ВР, неработоспособность ТЦ, неработоспособность разобщительного крана, трещина ЗР, срыв корончатой гайки триангеля, обрыв/излом воздухопровода и подводящих труб ТМ, излом рычагов и

обрыв тяги тормозной рычажной передачи.

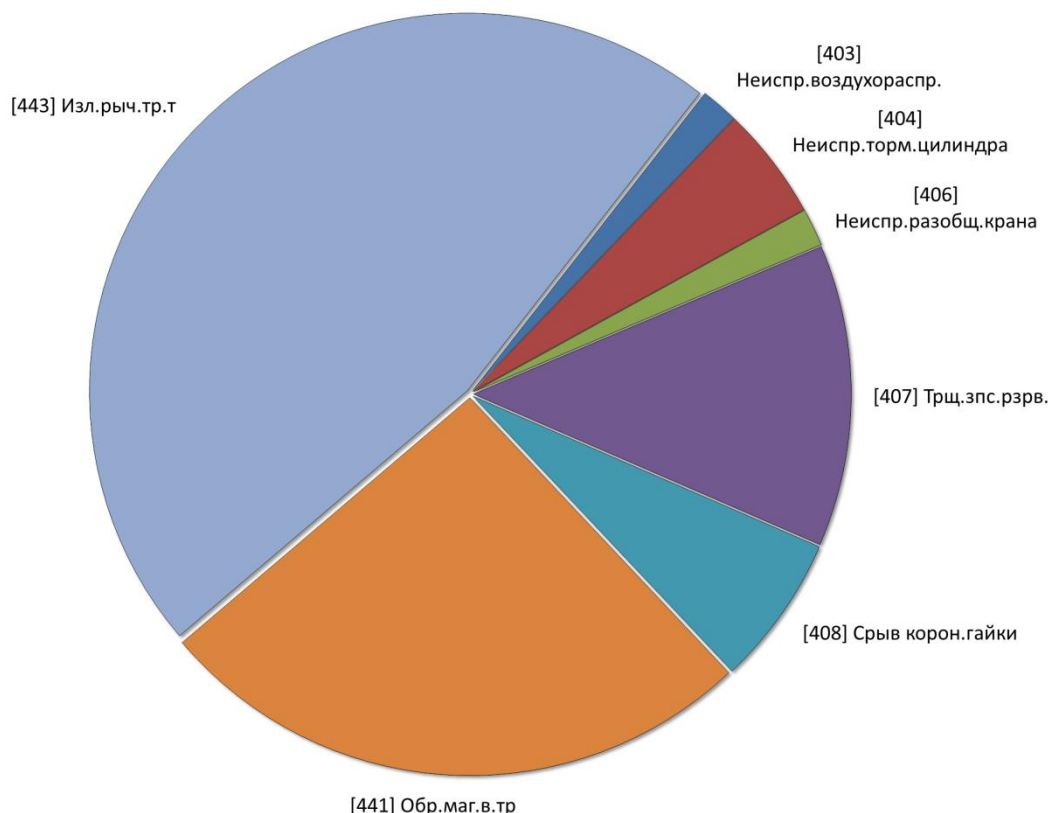


Рисунок 1.10 – Статистика отказов по неисправностям тормозного оборудования отдельных узлов вагонов

В настоящее время в условиях увеличения гарантийных участков движения поездов, несмотря на изменение технологии подготовки поездов, отказы в тормозных системах возникают. Поэтому при назначении величины гарантийных участков ПТО требуется расчётное обоснование их величины с учётом работы тормозного оборудования грузовых вагонов. Рассмотрим выполненные ранее исследования в этой области.

1.6 Краткий обзор исследований, посвящённых расчётному обоснованию протяжённости гарантийного участка пункта технического обслуживания грузовых вагонов

В настоящее время одной из важных задач, направленных на совершенствование работы ВХ, является целесообразное размещение на сети железных дорог пунктов технического обслуживания [19], персонал которых должен своевременно выявлять опасные повреждения вагонов, находящихся в пути следования, обеспечить безопасность движения и проводить работы по поддержанию технического состояния или восстановлению их работоспособности.

Остановимся на наиболее характерных и значимых исследованиях по рассматриваемой тематике.

Так, в работе Ивашова В.А. и Орлова М.В. [22] предложено определять периодичность технического обслуживания двумя параметрами:

- оборотом вагона, т.е. временем полного цикла работы от погрузки до следующей погрузки;
- допустимым пробегом гружёных и порожних вагонов, в смысле обеспечения безопасности движения между техническими обслуживаниями.

В процессе технического обслуживания грузовых вагонов в пути следования периодичность обслуживания определяется длиной гарантийных участков ПТО, которые размещают на крупных сортировочных станциях. Периодичность технического обслуживания вагонов представляет собой наработку вагона между очередными обслуживаниями.

Для обоснования периодичности технического обслуживания использованы показатели безотказности: параметр потока отказов и вероятность безотказной работы вагона на гарантийном участке, наработка на отказ.

Вероятность безотказной работы вагона на i -ом участке определяется:

$$P(l_i) = e^{-\omega l_i}, \quad (1.1)$$

где l_i – длина i -ого участка или наработка вагона на i -ом участке;

ω_i – параметр потока отказов на i -ом участке.

При увеличении длины участка в два раза при сохранении параметра потока отказов количество отказов вагонов возрастет прямо пропорционально.

Воспользовавшись теорией надёжности, авторы ввели в рассмотрение формулу вероятности безотказного проследования поезда из m вагонов на участке:

$$P_m(l) = \prod_1^m P(l), \quad P_m(l) = e^{-m\omega l}. \quad (1.2)$$

Здесь ω – параметр потока отказов на участке l .

Для заданного уровня $P_m(l)$, решая обратную задачу, получено соответствующее требуемому уровню значение длины участка (l_0):

$$P_m(l) = e^{-m\omega l_0},$$

откуда

$$\omega l_0 = -\ln(P_m(l)),$$

или

$$l_0 = -\bar{l}_i \cdot \ln(P_m(l)), \quad (1.3)$$

где $\bar{l}_i$ определяется $\bar{l}_i = \frac{1}{\omega_i}$.

Величину $\bar{l}_i$ определяют по данным учёта или принимают по данным аналогичных участков.

Кроме того, в случае объединения двух соседних участков (l_1 и l_2) с вероятностями безотказной работы поезда $P_m(l_1)$ и $P_m(l_2)$ соответственно, вероятность безотказной работы составит:

$$P_m(l_1 + l_2) \cong 1 - \{[1 - P_m(l_1)] + [1 - P_m(l_2)]\}. \quad (1.4)$$

Из формулы следует, что при увеличении гарантийного участка вероятность возникновения отказа поезда на участке увеличивается, тем самым уровень безопасности движения на железнодорожном транспорте будет уменьшаться. При этом пренебрегают вероятностью одновременного отказа поезда и на участке l_1 и

l_2 (что не совсем корректно), тем самым завышается вероятность безотказной работы поезда на участке.

В работе [5] выполнены исследования процессов функционирования ПТО и влияния на гарантийные участки параметров состояния парка вагонов. Разработана методика расчёта протяжённости гарантийного участка, определяющими факторами которой являются расчётные значения (квантили) наработки на отказ, при изменении уровня доверительной вероятности. Предложена методика оценки протяжённостей гарантийных участков, а также предложена модель процесса технического обслуживания вагонов на станциях ПТО.

В работах [14] и [13] проведён анализ случаев нарушений безопасности движения поездов и отказов подвижного состава на Белорусской железной дороге. На основании статистических данных о работе гарантийных участков определены и исследованы показатели «эксплуатационной» надёжности вагонов, а также определена длина участков по условию обеспечения требуемой надёжности.

Автором предложена методика, позволяющая классифицировать гарантийные участки полигона железной дороги с учётом возможных экономических потерь от отказов вагонов на них, усовершенствовать территориальную схему размещения ПТО, улучшить технологические процессы их работы, сократить отказы и повысить эксплуатационную надёжность грузовых вагонов. Длина безостановочного движения поездов, учитывая средневзвешенное значение наработки на отказ в целом по вагону определена:

$$l_{onm} = \frac{-T_{расч} \ln P(l)}{m}, \quad (1.5)$$

где T – наработка на отказ; $P(l)$ – вероятность безотказного проследования состава по гарантийному участку; m – среднее число вагонов в составе.

Приняв допущения о расчёте протяжённости гарантийных участков по средневзвешенному для грузового вагона значению наработки на отказ, зависимость примет вид:

$$l_{ont} = \frac{-T(V)_{расч} \ln P(t)}{m}, \quad (1.6)$$

где $T(V)_{расч}$ – расчётное значение случайной величины T при заданном уровне доверительной вероятности (β), который определяет степень риска в безостановочном проследовании поездов. Согласно формуле, получаем парадоксальный результат, если для составов с числом вагонов 60 получено значение оптимального гарантийного участка ПТО l_{ont} , то в случае, когда в составе поезда всего один вагон, периодичность контроля технического состояния такого «поезда» увеличится в 60 раз. Т.е. одним из определяющих результат факторов оказывается длина состава. Чем меньше состав, тем больше гарантийный участок ПТО и наоборот.

Предложив, что $T(V)_{расч}$ случайная величина строго подчиняется нормальному закону распределения с параметрами $\bar{T}$ и $\sigma_{T_{Bi}}$:

$$T(V)_{расч} = \bar{T}_{Bi} \pm t_{\beta} \sigma_{T_{Bi}}, \quad (1.7)$$

где $\bar{T}_{Bi}$ – математическое ожидание наработки на отказ; t_{β} – нормированное отклонение для заданного уровня доверительной вероятности β ; $\sigma_{T_{Bi}}$ – среднеквадратическое отклонение случайной величины $\bar{T}_{Bi}$, предлагается следующая запись условия оптимальности для протяжённости гарантийного участка:

$$l_{ont} = \min(l_{ont}^{KP}, l_{ont}^{бу}, l_{ont}^{тел}, l_{ont}^{авт}, l_{ont}^{авс}), \quad (1.8)$$

где $l_{ont}^{KP}, l_{ont}^{бу}, l_{ont}^{тел}, l_{ont}^{авт}, l_{ont}^{авс}$ – протяжённость гарантийных участков по условию надёжности колесных пар, буксового узла, тележки, автотормозного, автосцепного оборудования соответственно.

Тогда,

$$\left. \begin{aligned} l_{онт}^{кп} &= -T(V)_{расч}^{кп} \ln P(l)/m \\ l_{онт}^{бу} &= -T(V)_{расч}^{бу} \ln P(l)/m \\ l_{онт}^{мел} &= -T(V)_{расч}^{мел} \ln P(l)/m \\ l_{онт}^{авт} &= -T(V)_{расч}^{авт} \ln P(l)/m \\ l_{онт}^{авс} &= -T(V)_{расч}^{авс} \ln P(l)/m. \end{aligned} \right\}. \quad (1.9)$$

Как отмечают авторы, предлагаемая методика позволяет классифицировать гарантийные участки полигона железной дороги с учётом возможных экономических потерь от отказов вагонов на них, усовершенствовать территориальную схему размещения ПТО, усовершенствовать технологические процессы их работы, сократить отказы и повысить эксплуатационную надёжность грузовых вагонов. В основе методики лежит подход, аналогичный работе В.А. Ивашова и М.В. Орлова, но уточнённый с помощью формул 1.8 и 1.9. Однако стоит отметить, что применение такого подхода возможно только в предположении независимости отказов перечисленных элементов конструкции, а также справедливости гипотезы об ординарности, стационарности и отсутствии последствия для потоков отказов, доказательство и обоснование которого отсутствует в работе.

В настоящее время на железных дорогах гарантийные плечи определяют на основе распоряжения ОАО РЖД от 07.12.2016 г. № 2475р, в котором установлен единый порядок организации работ по обеспечению безопасного проследования поездов по гарантийным участкам, а также приведена методика расчёта протяжённости гарантийных участков безопасного проследования вагонов в исправном состоянии в составе поезда.

На основании данных автоматизированной системы КАС АНТ о количестве отказов технических средств (ОТС) первой и второй категории, произошедших на сети железных дорог по вине вагонного хозяйства, общего количества обработанных вагонов по сети и суммарной длины всех гарантийных участков на сети, вычисляется вероятность отказов технических средств на каждый обработанный вагон и на каждый пройденный километр.

$$O_C = \sum O_{ГВ} = O_{ГВ-1} + O_{ГВ-2} + \dots + O_{ГВ-n}, \quad (1.10)$$

$$B_C = \sum B_{ГУ} = B_{ГУ-1} + B_{ГУ-2} + \dots + B_{ГУ-n}, \quad (1.11)$$

где O_C – общее количество ОТС 1 и 2 категории по вине вагонного хозяйства в рассматриваемом периоде в сумме по сети; B_C – суммарное количество обработанных вагонов в рассматриваемый период на сети; $O_{ГУ-i}$ – количество ОТС 1 и 2 категории, произошедших на гарантийном участке по вине вагонного хозяйства в рассматриваемом периоде на i -ом участке; n – общее количество гарантийных участков; $B_{ГУ-i}$ – количество обработанных вагонов на гарантийном участке в рассматриваемом периоде на i -ом участке.

«Вероятность» ОТС 1 и 2 категории на каждый обработанный вагон на i -ом на ГУ за рассматриваемый период $Q_{ГУi}$:

$$Q_{ГУi} = O_{ГУ} / B_{ГУ}. \quad (1.12)$$

Средняя по сети «вероятность» ОТС 1 и 2 категории на каждый обработанный вагон за рассматриваемый период Q_C :

$$Q_C = O_C / B_C. \quad (1.13)$$

Суммарная длина всех гарантийных участков на сети D_C :

$$D_C = \sum D_{ГУ} = D_{ГУ-1} + D_{ГУ-2} + \dots + D_{ГУ-n}, \quad (1.14)$$

где $D_{ГУ-i}$ – длина i -го гарантийного участка.

«Вероятность» ОТС 1 и 2 категории за рассматриваемый период на каждый километр рассматриваемого гарантийного участка $W_{ГУ}$:

$$W_{ГУ} = O_{ГУ} / D_{ГУ}. \quad (1.15)$$

Средняя по сети «вероятность» ОТС 1 и 2 категории на каждый километр за рассматриваемый период W_C :

$$W_C = O_C / D_C. \quad (1.16)$$

Однако стоит отметить, что показатели типа W нельзя назвать вероятностью отказа технических средств на участке, скорее всего это «частота» случаев задержки поездов, которая в силу ограниченного числа «наблюдений» может иметь большое рассеивание.

Из соотношения «вероятности» ОТС 1 и 2 категории на гарантийный участок ($O_{ГУ_i}$) и вероятности ОТС 1 и 2 категории (O_C) на сети определяется возможность ввода новых и удлинения существующих гарантийных участков:

$$Y_{ГУ} = Q_{ГУ} / Q_C; \quad (1.17)$$

$$U_{ГУ} = W_{ГУ} / W_C, \quad (1.18)$$

где $Y_{ГУ}$ – отношение вероятности ОТС 1 и 2 категории на каждый обработанный вагон на гарантийный участок к «вероятности» ОТС 1 и 2 категории на сети;

$U_{ГУ}$ – отношение «вероятности» ОТС 1 и 2 категории на каждый километр на гарантийный участок к «вероятности» ОТС 1 и 2 категории на сети.

Объединение двух смежных ГУ в один новый гарантийный участок допустимо только в случае выполнения всех следующих условий:

$$\begin{aligned} Y_{ГУ-1} < 1 & \quad Q_{ГУ-1} < Q_C \\ Y_{ГУ-2} < 1 & \quad Q_{ГУ-2} < Q_C \\ U_{ГУ-1} < 1 & \text{или} \quad W_{ГУ-1} < W_C \cdot \\ U_{ГУ-2} < 1 & \quad W_{ГУ-2} < W_C. \end{aligned} \quad (1.19)$$

Если хотя бы одно из вышеперечисленных условий не выполняется – объединение этих двух гарантийных участков в один новый невозможно и требует приведения уровня безотказного проследования поездов на гарантийных участках к уровню не ниже среднесетевого путём проведения переаттестации гарантийного участка.

Ожидаемое (прогнозируемое) число отказов по вине вагонного хозяйства $O_{ГУ-О}$ на удлинённом гарантийном предложено определять:

$$O_{ГУ-О} = O_{ГУ-1} (D_{ГУ-1} + D_{ГУ-2}) / D_{ГУ-1}, \quad (1.20)$$

прогнозируемые «вероятности» ОТС 1 и 2 категории на каждый обработанный вагон на объединённом гарантийном участке $Q_{ГУ-О}$:

$$Q_{ГУ-О} = O_{ГУ-О} / B_{ГУ-1}, \quad (1.21)$$

и на каждый километр объединённого гарантийного участка $W_{ГУ-О}$:

$$W_{ГУ-О} = O_{ГУ-О} / (D_{ГУ-1} + D_{ГУ-2}). \quad (1.22)$$

Сетевые показатели после объединения двух смежных гарантийных участков:

$$O_{C-O} = O_C - O_{ГУ-1} - O_{ГУ-2} + O_{ГУ-O}; \quad (1.23)$$

$$B_{C-O} = B_C - B_{ГУ-2}; \quad (1.24)$$

$$D_{C-O} = D_C, \quad (1.25)$$

где O_{C-O} – прогнозируемое среднее количество ОТС 1 и 2 категории в сумме по сети после объединения; B_{C-O} – прогнозируемое количество обработанных вагонов на сети после объединения; D_{C-O} – суммарная длина всех гарантийных участков на сети (не изменится).

В качестве условия допустимости объединения двух гарантийных участков приняты условия:

$$Y_{ГУ-O} < 1 \text{ и } U_{ГУ-O} < 1$$

или

$$. \quad (1.26)$$

$$W_{ГУ-1} < W_C \text{ и } W_{ГУ-O} < W_C$$

Объединение двух смежных гарантийных участков в один новый гарантийный участок допустимо только в том случае, если прогнозируемые отношения среднего количества отказов на объединённом участке к количеству обработанных вагонов и длине гарантийных участков будет меньше среднесетевого уровня.

В основе этого подхода лежит информация, собираемая системой КАС АНТ. Однако система не ориентирована на фиксацию случаев отказов вагонов, в ней отображаются только случаи, которые привели к задержкам поездов. Такой выборочный подход к статистике об отказах существенно искажает получаемый результат, а погрешность расчётов не поддается анализу. Таким образом, используя только статистику системы КАС АНТ, невозможно корректно определить величины используемых частот возникновения отказов технических средств (в частности грузовых вагонов) на гарантийных участках. Тем самым занижается их количество, а, следовательно, завышаются расчётные значения гарантийных участков.

Предложенное обоснование возможности объединения (удлинения) гарантийных участков предполагает, что в случае объединения участков суммарное количество отказов, отнесённых к длине удлиненного плеча будет не больше, чем аналогичное число для наихудшего из двух объединенных участков. Этот подход не учитывает случаи отказов технических средств, которые выявили осмотрщики вагонов на промежуточном ПТО. Кроме того, получаемый результат не зависит от показателей качества работы осмотрщиков вагонов по выявлению опасных отказов грузовых вагонов на ПТО.

Сравнение со среднесетевыми значениями при принятии решения об увеличении гарантийных участков также не выдерживает критики. Так будет предложено закрыть промежуточное ПТО, которое качественно выполняет свои функции, т.е. количество отказов на гарантийном участке меньше среднесетевого значения. Однако при этом отказы будут возникать как минимум с той же интенсивностью, но при этом не будут вовремя выявлены. Это приведёт к увеличению периода времени работы вагона с не выявленным отказом. И наоборот, ПТО с относительно высокими показателями задержек поездов будут продолжать функционировать с существующими гарантийными плечами.

Аналогичный абсурдный результат получен в работе группы учёных ВНИИЖТа, когда при объединении двух участков количество отказов вагонов на удлинённом плече по расчётам авторов будет даже меньше суммы отказов технических средств по каждому участку отдельно.

Для Департамента вагонного хозяйства специалисты ВНИИЖТа Ступин А.П., Сендеров Г.К., Бузанова Е.С., Виноградова Г.А., Зыков Ю.В., Мартынюк Н.Г., Чупейкина Л.Г. в 1998 году разработали методику оценки безотказного проследования поездов на гарантийном участке и возможности увеличения его длины, методику расчёта экономической эффективности удлинения гарантийного участка, а также составили рекомендации по техническому оснащению и технологии работы ПТО при удлинении гарантийного участка [41]. Применено сравнение уровня безотказного

проследования поездов на участке (линии, железной дороге) со среднесетевым (среднедорожным) уровнем.

В качестве показателей уровня безотказности использованы наработка на отказ и параметр потока отказов на участке, хотя он применяется только для ремонтируемых изделий. Разработчики утверждают, что количество отказов поездов на участке, выражаемых числом браков в работе, отцепок вагонов от составов на промежуточных станциях, числом вынужденных остановок (задержек) поездов по проследованию по техническим неисправностям вагонов, учитываемым при анализе графиков исполненного движения (без учета задержек поездов, идущих вслед за поездами, имевшими остановку по причинам отказа вагонов), обязательно снизится при условии реализации организационно-технических мероприятий, таких как:

- оснащение ПТО средствами технического диагностирования (далее – СТД) подвижного состава, проведение работ по их перенастройке;
- оснащение ПТО производственно-техническими и санитарно-бытовыми помещениями, средствами механизации, системой централизованного ограждения составов, оборудованными технологическими проходами, связью, информационно-технологическими устройствами и т.п.;
- приведение в соответствие штата работников ПТО нормам времени технического обслуживания поездов и его укомплектованность;
- изменение организации двухстороннего контроля за поездами в пути следования.

Несомненно, все эти организационно-технические мероприятия оказывают влияние на безаварийное безостановочное следование поезда по гарантийному участку, но количественно оценить это влияние достаточно сложно. Но в этой методике приведены довольно определенные цифры снижения отказов поездов на участке в процентном эквиваленте, при этом ничем не обоснованные.

При расчёте же экономической эффективности не учтены убытки от возможного возникновения транспортных происшествий при удлинении гарантийного участка.

В работе [15] предложены направления по совершенствованию системы технического диагностирования грузовых вагонов в эксплуатации, которые, как отмечают авторы, позволят существенно сократить количество отказов гружёных вагонов и перейти от гарантии безотказной работы на гарантийном участке к гарантии безотказной работы за период оборота вагона. При такой постановке задачи большое значение приобретает задача обоснования предельных нормативных значений параметров, характеризующих предотказное состояние вагона. Однако предлагаемые более жёсткие требования к деталям и узлам увеличат расходы на текущие ремонты при подготовке вагонов к перевозкам, при этом невозможно без изменения существующих технологий подготовки вагонов к перевозкам гарантировать отсутствие внезапных и опасных отказов в течение оборота грузового вагона.

Большой вклад в развитие этого направления имеют работы [64] П.А. Устича и А.А. Иванова, которые предлагают получать показатель гарантийного участка ПТО индивидуально для каждого вагона рассматриваемого типа. Было предложено при его оценке учитывать, с одной стороны, уровень надёжности и безопасности вагонных конструкций (их безотказность, ремонтпригодность), уровень контролепригодности на ПТО, а с другой – качество работы осмотрщиков вагонов и затраты на их функционирование. С помощью этой методики предложено управлять требуемым уровнем рисков на железнодорожном транспорте.

Аналогичный подход был использован в работе [38] для условий Улан-Баторской железной дороги. Автор показал связь между величиной гарантийных участков ПТО и расходами на их содержание и оптимизировал периодичности контролей технического состояния вагонов на ПТО в период между деповскими ремонтами.

В последние годы одна из актуальных проблем для ЖДТ – это влияние человеческого фактора на работу транспорта [40]. В работе рассмотрено влияние человеческого фактора на безотказную работу тормозного оборудования поездов. Исследование проведено аналитическим методом, опираясь на статистику отказов

тормозного оборудования, теоретический материал пневматического оборудования подвижного состава, а также на действующие правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава. В результате рассмотрения вопроса надёжности тормозного оборудования, выявлена проблема отсутствия эффективных средств диагностики тормозной сети поезда, которое обеспечивало бы исключение отказов, связанных с нарушением целостности и плотности тормозной сети поезда. Авторы предлагают разработать комплекс мер по совершенствованию диагностики тормозной сети поезда и тормозного оборудования, а именно создать устройство, способное диагностировать тормозную сеть во время движения и на стоянках, а также сократить время на замер плотности тормозной сети поезда и автоматизировать его.

В работе [24] изложен вопрос прогнозирования риска задержки поезда в результате отказа тормозного оборудования с помощью Байесовой статистики. Авторы приводят подход, являющийся одним из этапов системы управления рисками, который позволяет спрогнозировать величину риска отказа технических средств грузового вагона и тем самым своевременно запустить процедуру предупреждающих мероприятий. Предложенный подход, один из немногих, который позволяет оценить последствия ненадёжности, а также оценить риск, объединяя данные эксплуатации и технического обслуживания.

В работе [34] в результате анализа работы тормозной системы грузовых вагонов разработаны требования к методике повышения эксплуатационной надёжности тормозной системы, алгоритм и программное обеспечение для мониторинга замедленного отпуска тормозных колодок (залипание). Предложен комплексный подход в решении проблемы повышения надёжности тормозной системы, а также система ступенчатого нагружения тормозной магистрали с целью выявления потенциально ненадёжных воздухораспределителей.

Выполненный анализ исследований показал, что в работах по обоснованию протяжённости гарантийных участков используются существующие информационные системы, аппарат математической статистики и терминология

теории надёжности. Наиболее значимый вклад по развитию рассматриваемой тематики для грузовых вагонов внесли учёные: Ивашов В.А., Орлова М.В., Бычек И.С., Гурский Е.П., Устич П.А., Иванов А.А., Лхамжавын Б., Вологодина Л.Б., Зыков Ю.В., Сигилева Е.И., Мануилов Н.И., Иванов П.Ю., Дульский Е.Ю., Карпычев В.А., Копылова А.В., а также Ступин А.П., Сендеров Г.К., Бузанова Е.С., Виноградова Г.А., Зыков Ю.В., Мартынюк Н.Г., Чупейкина Л.Г., В.И. Гридюшко, В.Ф. Лапшин, Г.В. Райков и др.

В настоящее время проводится многочисленные исследования, направленные на повышение долговечности и безотказности элементов вагонных конструкций, проблемам их модернизации, повышения износостойкости пар трения и увеличения их межремонтного периода. Большой вклад в решение этих задач внесли: Петров Г.И., Скуратов, Паначев О.И., Калетин С.В., Филиппов В.Н., Тармаев А.А.

Применительно к проблемам организации систем технического обслуживания и ремонта большой вклад внесли: Воробьёв А.А., Горский А.В., Скребков А.В. [7, 9] и др.

1.7 Вывод по разделу 1

Анализ опыта эксплуатации грузовых вагонов, а также выполненных научных исследований в области обоснования гарантийного участка ПТО позволил сформулировать актуальные проблемы для железнодорожного транспорта, а также цели и задачи диссертации.

Анализ опыта эксплуатации грузовых вагонов, организации системы своевременного обнаружения отказов вагонов в пути следования, а также выполненных научных исследований в области обоснования гарантийного участка ПТО позволил сформулировать актуальные для железнодорожного транспорта проблемы, цели и задачи диссертации. Несмотря на то, что основной целью работы ПТО является обеспечение безопасности движения на гарантийном

участке, в исследованиях используют либо детерминированные модели, выстраиваемые только на основе информации системы КАСАНТ (о случаях задержек поездов), либо применяют показатели безотказности (интенсивность потока отказов), которые являются свойством конструкции, а, следовательно, зависят только от её параметров. Однако к решению такого класса задач необходимо подходить, соблюдая принципы системности и оптимальности, так как при научно необоснованном изменении гарантийных участков в ту или иную сторону, могут возникнуть негативные последствия для железнодорожного транспорта в целом. При расчётном обосновании протяжённости гарантийных участков ПТО должны использоваться подходы обеспечения безопасности объекта в эксплуатации, поэтому необходимо учитывать не только безотказность грузового вагона, но и его контролепригодность, характеристики и показатели работы предприятий вагонного комплекса, допустимый уровень рисков крушений и аварий. Кроме того, для повышения эффективности работы железнодорожного транспорта и увеличения безостановочного движения поездов для вагонного комплекса нужна система, не только рассчитывающая величину гарантийного участка ПТО, но и осуществляющая его автоматизированный контроль, а также потребуется технология управления этим показателем.

Цель исследования. Разработать и с учётом цифровизации реализовать в отрасли концепцию обеспечения безопасной эксплуатации вагонов грузового парка. Целью работы является обоснование гарантийного участка пункта технического обслуживания грузовых вагонов на основе вероятностной математической модели с учётом оценки технического состояния тормозной системы.

С этой целью исследования включают в себя решение следующих задач: анализ ремонтпригодности элементов тормозной системы грузового вагона применительно к текущему техническому содержанию; на основе уточнённых понятий и количественных показателей безопасности объекта разработку математической модели аварийности грузового вагона с учётом технического состояния тормозной системы; разработку методики построения

расчётной схемы вагона для оценки показателя его безопасности, включая элементы тормозной системы; разработку методов сбора информации об опасных отказах вагонов рассматриваемого типа и получение вероятностных моделей отказов; оценки на примере вагонов рассматриваемого типа показателей безотказности ответственных элементов конструкции и тормозной системы; на основе сформулированной модели работы пункта технического обслуживания для вагонов рассматриваемого типа получение оптимальной нижней оценки гарантийного участка; с помощью приведённой методики исследование влияния на её величину различных параметров работы вагонного комплекса; разработку отраслевой информационной технологии, направленной на обеспечение контроля гарантийных участков при движении поездов.

2 АНАЛИЗ ОТКАЗОВ ВАГОНОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

2.1 Уточнение понятия безопасности вагона

Как известно, более половины всех нарушений безопасности движения поездов приходится на путевое и ВХ. При этом по числу браков в работе лидирует ВХ. Так, по данным ОАО «РЖД» каждый третий случай брака от общего их числа на сети железных дорог происходит по вине ВХ, каждый третий сход подвижного состава в поездах происходят из-за технической неисправности ответственных элементов конструкции вагона, которые имеют ограниченную или даже нулевую контролепригодность в условиях эксплуатации [62].

Осмотрщики вагонов на ПТО представляют собой одно из звеньев глубоко эшелонированной защиты от крушений и аварий на ЖДТ [57]. Своевременное обнаружение отказов вагонных конструкций во многом определяет достигнутый уровень безопасности движения. А параметры существующей системы контроля технического состояния грузовых вагонов находятся в некотором балансе с показателями безопасности движения на ЖДТ. Осмотрщик вагонов – последний, кто «видит» вагон перед его крушением, а, следовательно, имеет некоторую ограниченную возможность предотвращения невосполнимых потерь.

Прежде чем определить перечень отказов, влияющих на безопасность движения поездов, необходимо определиться с некоторыми базовыми понятиями и количественным показателем безопасности вагона. Для этого следует:

- 1) уточнить структуру понятия «безопасность любого объекта»;
- 2) уточнить т.н. ключевые термины, необходимые для формулировки понятия «Безопасность вагона» (или другой единицы подвижного состава);
- 3) сформулировать основные требования к количественному показателю безопасности вагона (или другой единицы подвижного состава);
- 4) предложить конкретный количественный показатель безопасности вагона и обосновать его соответствие указанным требованиям.

Для чего приводятся необходимые пояснения к плану выбора подходящего определения понятия «безопасность вагона» и его количественного показателя.

Структура рассматриваемого понятия должна соответствовать трём ключевым условиям:

- внезапность отказа объекта;
- последствия отказа тяжелы или даже невосполнимы;
- отказ происходит при использовании объекта по назначению.

Замечание. В отличие от такого свойства изделия как надёжность, свойством «безопасность» обладают не все объекты. Так, например, будильник опасен как объект для метания, но в инструкции по его эксплуатации не предусмотрено его использование в этом качестве. Следовательно, будильник не обладает свойством безопасности.

Для достижения ясного понимания смысла искомого определения к достаточно сложному понятию «безопасность объекта» используются вспомогательные определения (таблица 2.1).

Под безопасностью объекта понимается его свойство, которое заключается в предсказуемости переходов объекта в аварийное состояние при его использовании по назначению.

Количественный показатель безопасности такого объекта как вагон должен удовлетворять как минимум следующим требованиям:

- 1) физический смысл должен быть естественным для работников ЖДТ и соответствовать приведённому определению «Безопасности объекта»;
- 2) показатель должен быть приспособлен к использованию его в методах расчётного обоснования параметров конструкции, системы ремонта и срока службы вагона;
- 3) показатель должен быть совместим с показателями безопасности технических систем других хозяйств с точки зрения получения единого показателя безопасности ЖДТ в целом;
- 4) методика оценки, оптимизации и нормирования показателя безопасности должна быть ориентирована на возможности информационной базы ЖДТ.

Таблица 2.1 – Вспомогательные термины и определения

Термин	Определение
Опасный отказ	Событие, состоящее в переходе вагона в скрытое аварийное состояние (САС)
Аварийное состояние	Состояние вагона, которое при неблагоприятном стечении обстоятельств может привести к крушению или аварии
САС вагона	Состояние, при котором вагон находится в аварийном состоянии, но к нему относятся как к работоспособному
Крушение поезда (катастрофа)	Исход аварийного состояния с тяжёлыми невосполнимыми последствиями для человека и (или) природной среды
Авария поезда	Исход аварийного состояния вагона с тяжёлыми последствиями для экономики транспорта

В научных работах сотрудников МИИТа много лет назад предложен упомянутый количественный показатель безопасности вагона, который, как будет показано ниже, удовлетворяет приведённым выше требованиям. Это т.н. параметр безопасности вагона: максимально допустимый пробег вагона между его глубокими диагностиками. Под глубокой диагностикой понимается тот объём диагностических работ, который в настоящее время реализуется в рамках деповского ремонта (ДР) и капитального ремонта (КР) вагона. Обоснование правомерности использования предлагаемого количественного показателя безопасности вагона с точки зрения приведённых выше требований.

Первое требование. Поскольку наиболее опасны составные части вагона (СВЧ) с ограниченной контролепригодностью в условиях ПТО, разрушение которых чревато крушением поезда, то целесообразны мероприятия по предупреждению факта перехода вагона в аварийное состояние. Поэтому вводится понятие заранее обоснованного предельно допустимого пробега вагона между двумя соседними понятными для работников вагонного хозяйства событиями, т.е. глубокими диагностиками, при которых обнаруживается опасное повреждение вагона с вероятностью во много раз большей, чем при контроле технического состояния на ПТО.

Второе требование. Существует разработанная на кафедре «Вагоны и вагонное хозяйство» МИИТа методика вписывания рассматриваемого показателя безопасности вагона в оптимизационную задачу, которая направлена на получение оптимального значения нормативного срока службы и параметров системы технического обслуживания и ремонта вагона;

Третье требование. Существует методика, позволяющая каждому значению параметра безопасности ($I_{БД}$) поставить в соответствие значение риска аварии поезда. Поэтому представляется возможным, во-первых, управлять риском аварии поезда, во-вторых, именно такая категория как риск аварии поезда может сыграть роль «общего знаменателя» при выводе формулы показателя безопасности ЖДТ в целом.

Четвёртое требование. В настоящее время существует главный элемент информационной базы вагонного хозяйства – система ЦПУВ, благодаря которой можно получить необходимые исходные данные для определения параметра безопасности ($I_{БД}$).

Теперь всё готово для определения узлов и отказов, ответственных за безопасность движения. Они должны удовлетворять трём требованиям: иметь низкую контролепригодность при непосредственном использовании вагона по назначению; отказы при неблагоприятном стечении обстоятельств могут немедленно привести к крушениям или авариям; выявление и полное устранение этих отказов возможно лишь в стационарных условиях вагонных ремонтных депо.

2.2 Анализ ремонтпригодности тормозной системы вагонов

Как показывает приведённый выше опыт эксплуатации грузовых вагонов, наибольшее количество отказов приходится на работу тормозной системы поезда. Основными причинами отказов тормозной системы являются ВР, ТМ, тормозная рычажная передача, тормозная арматура, редко встречаются отказы неисправности АР, ТЦ, ЗР, стояночного тормоза.

Также имеются и случаи отказов тормозной системы вагона вследствие некачественного исполнения осмотровиком-автоматчиком функций по обслуживанию и ремонту тормозного оборудования на ПТО. К ним относятся:

- несоответствие расстояния от торца муфты защитной трубы авторегулятора тормозной рычажной передачи до начала присоединительной резьбы на его винте;
- завал вертикальных рычагов тормозной рычажной передачи тележки в мёртвой точке;
- несоответствие расстояния между корпусом авторегулятора и упорным рычагом (упором);
- неплотное прилегание магистральной или главной части воздухораспределителя к рабочей камере;
- неправильное включение режима торможения/отпуска воздухораспределителя.

Ещё одной причиной, приводящей к неспособности тормозной системы обеспечить необходимую эффективность торможения поезда, является вмешательство посторонних лиц. К ним относятся разъединение соединительных рукавов, перекрытие концевых кранов, затяжка стояночного тормоза.

Выполним анализ ремонтпригодности элементов тормозной системы вагона в условиях текущего технического содержания, т.е. проанализируем приспособленность к обнаружению и устранению отказов автотормозного оборудования при непосредственном использовании вагона по назначению (в условиях ПТО).

Как известно, ремонтпригодность – это свойство изделия, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путём технического обслуживания и ремонта [11]. Помимо ремонтпригодности в узком смысле это понятие включает в себя «обслуживаемость», т.е. приспособленность объекта к техническому обслуживанию, «контролепригодность» и приспособленность к предупреждению и обнаружению отказов и повреждений, а также причин их вызывающих.

Контролепригодность – это свойство изделия, характеризующее его приспособленность к проведению контроля заданными средствами, другими словами приспособленность объекта к обнаружению и устранению отказов и повреждений.

Методика оценки ремонтпригодности в настоящее время базируется на использовании экспертной оценке и анализе. Технологию анализа можно реализовать с помощью блок-схемы, представленной на рисунке 2.1 [59].

Каждый элемент тормозной системы подвергается анализу, в процессе которого исследователь, полагаясь не только на свои знания, опыт и интуицию, но и на помощь экспертов в соответствующих областях науки и техники, а также на литературные источники, должен ответить в форме «да – нет» на ряд расположенных в определенной последовательности вопросов.

Последовательность номеров блоков составляет шифр, характеризующий ремонтпригодность рассматриваемого элемента тормозной системы вагона.

При этом отказы для каждого элемента тормозной системы вагона удобно будет разбить на три группы:

- 1) имеющие нулевую контролепригодность и ремонтпригодность при непосредственном использовании вагона по назначению (в условиях ПТО станции), группе соответствует шифр 1-3-6-11;
- 2) полностью контролепригодные и ремонтпригодные в эксплуатации, группе соответствует шифр 1-2-5-7-10;
- 3) имеющие ограниченную контролепригодность и ремонтпригодность (им соответствуют остальные шифры).

Как показано в работе [56], к сходу вагона с рельсов, в результате которого может произойти крушение или авария, может привести падение деталей вагона на путь. Относительно тормозной системы один из таких случаев – это падение на путь триангеля тормозной рычажной передачи тележки.

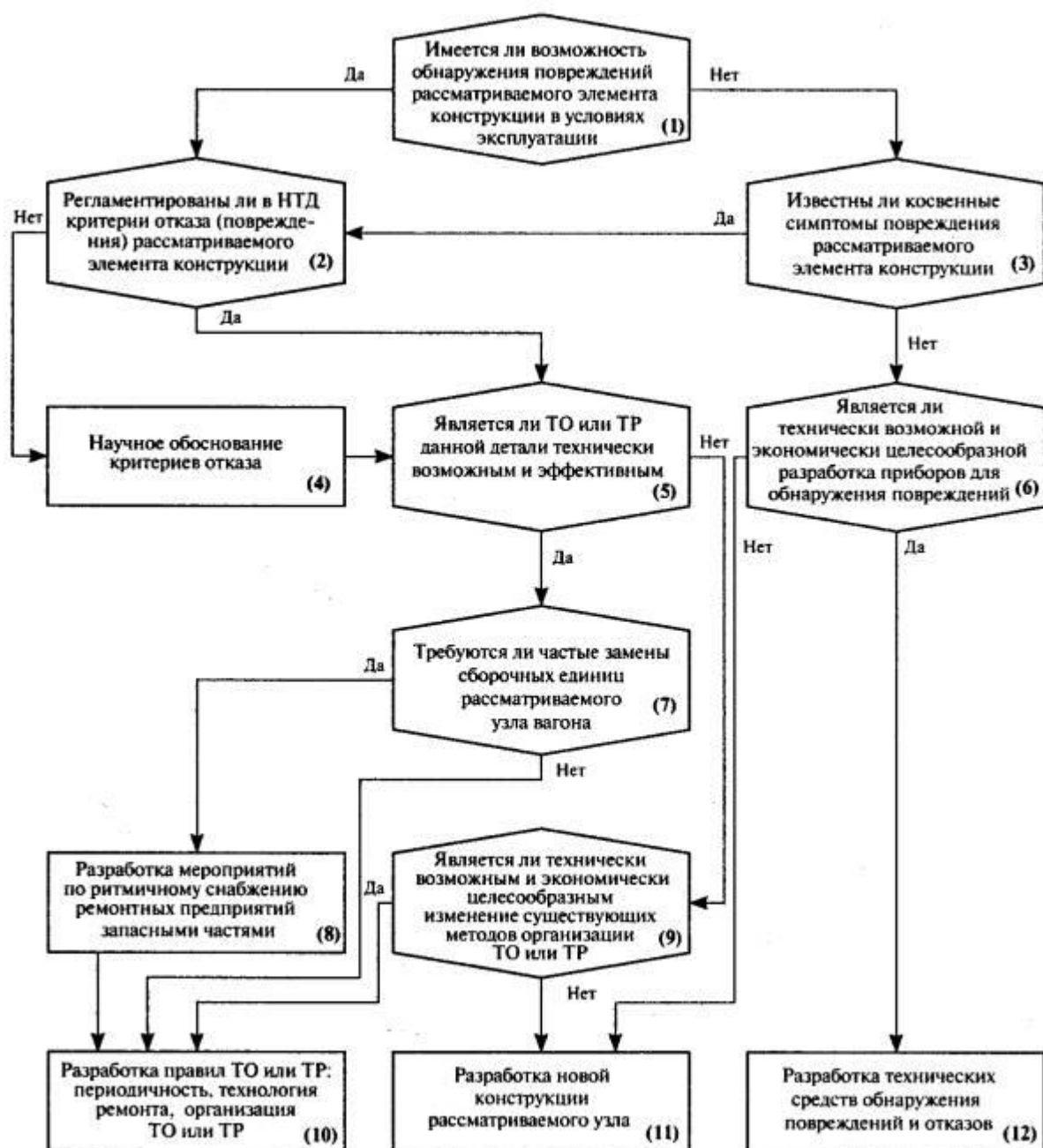


Рисунок 2.1 – Схема анализа ремонтпригодности рассматриваемого элемента конструкции применительно к техническому обслуживанию вагона

Рассмотрим приведенную на рисунке 2.1 технологию анализа ремонтпригодности на примере выпадения валика подвески башмака тормозной рычажной передачи тележки, используя табличную форму представления результатов (таблица 2.2).

Выпадение валика подвески триангеля обусловлено повреждениями или отказами других элементов, даже не входящих в тормозную систему вагона. Например, повышенная вибрация может быть следствием неисправности колёсной пары (повреждения поверхности катания колеса или подшипника).

Таблица 2.2 – Анализ ремонтпригодности тормозной рычажной передачи тележки относительно выпадения валика подвески башмака

Исходная позиция	Принятое решение	Искомая позиция	Обоснование принятого решения
1	Да	2	В результате проведенного опроса специалистов по тормозному оборудованию служб вагонного хозяйства дирекций инфраструктуры выяснено, что данная неисправность выявляется при визуальном осмотре на ПТО.
1–2	Да	1–2–5	Согласно технической документации не допускается отсутствие валика подвески тормозного башмака.
1–2–5	Да	1–2–5–7	На ПТО имеется возможность постановки валика подвески башмака.
1–2–5–7	Да	1–2–5–7–8	Для повышения ремонтпригодности целесообразна разработка мероприятий по ритмичному снабжению ПТО запасными частями, а именно валиками подвески башмака, предохранительными скобами (для исключения потери валика), а также фиксирующими устройствами – шплинтами и шайбами. На основании норм расхода материалов и запасных частей на техническое обслуживание грузовых вагонов на путях станции № ПКТБ ЦУНР/ЦУНР-13.5.0192–15, составленным на основании статистических данных и утвержденных распоряжением ОАО «РЖД» от 3 ноября 2015 года № 2622р, на пунктах технического обслуживания заменяется 0,28 валиков подвески башмака, 0,124 шплинтов, 30 предохранительных скоб на каждые 1000 вагонов.
1–2–5–7–8		1–2–5–7–8–10	Для повышения ремонтпригодности необходимо разработать правила технического обслуживания, обосновать периодичность его выполнения, технологию и организацию предусмотренных работ.

Для примера рассмотрим ещё одно событие, влияющее на безопасность движения – отсутствие или излом тормозной колодки (таблица 2.3). Эта неисправность опасна тем, что может привести к серьёзным повреждениям колёсной пары: кольцевым выработкам, ползунам и наварам на поверхности катания колеса, кроме того, возможен «привар» тормозного башмака к колесу и заклинивание колесной пары.

Как видно из таблицы 2.3, отсутствие или излом колодки, является полностью контролепригодным в эксплуатации и может иметь два шифра

ремонтпригодности в зависимости от сложившихся последствий: 1–2–5–9–10 или 1–2–5–7–8–10.

Таблица 2.3 – Анализ ремонтпригодности тормозной рычажной передачи тележки относительно отсутствия или излома тормозной колодки

Исходная позиция	Принятое решение	Искомая позиция	Обоснование принятого решения
1	Да	2	Неисправность выявляется при визуальном осмотре тормозной передачи тележки на ПТО осмотрщиком вагонов, но может быть обнаружена и при осмотре состава «с ходу», т. е. в процессе движения прибывающего на станцию поезда.
1–2	Да	1–2–5	В инструкции осмотрщику вагонов указано, что отсутствие или излом тормозной колодки не допускается.
1–2–5	Да Нет	1–2–5–7 1–2–5–9	На ПТО имеется возможность установки или замены тормозной колодки. Но если этот отказ привел к «привару» тормозного башмака к колесу, наличию дефектов на поверхности катания колеса браковочных размеров, то придется отцеплять вагон в текущий ремонт.
1–2–5–7	Да	1–2–5–7–8	Для повышения ремонтпригодности целесообразна разработка мероприятий по ритмичному снабжению ПТО запасными частями, а именно тормозными колодками и чеками тормозных колодок. На основании норм расхода материалов и запасных частей на техническое обслуживание грузовых вагонов на путях станции № ПКТБ ЦУНР/ЦУНР-13.5.0192–15, составленным на основании статистических данных и утвержденных распоряжением ОАО «РЖД» от 3 ноября 2015 года № 2622р, на пунктах технического обслуживания заменяется 15,2 тормозных колодок, две чеки колодки на каждые 1000 вагонов.
1–2–5–9	Да	1–2–5–9–10	Для повышения ремонтпригодности необходимо разработать технологию смены колесной пары в условиях ПТО за ограниченное время стоянки поезда под техническим обслуживанием.
1–2–5–7–8		1–2–5–7–8–10	Для повышения ремонтпригодности следует обосновать периодичность выполнения технического обслуживания.

Нельзя не упомянуть также о других отказах тормозной рычажной передачи тележки, таких как выпадение валиков шарнирных соединений тяг и рычагов, которые возникают по причине неисправности или отсутствия шплинтов; обрыв подвески тормозного башмака, что является следствием развития трещин по причине усталости; опускание скобы для равномерного износа колодок, которое во время движения поезда чаще всего выявляется прибором УКСПС, но может быть обнаружено и на ПТО при осмотре вагона. Имеют место и изломы (обрывы) предохранительных устройств, предназначенных для предотвращения падения деталей тормозного оборудования на путь. Все они полностью контролепригодны.

По апробированной методике искомые коды для повреждений:

- излом (обрыв) предохранительных устройств 1–2–5–7–8–10;
- выпадение валиков шарнирных соединений тяг и рычагов 1–2–5–7–8–10;
- обрыв подвески тормозного башмака 1–2–5–7–10.

Таким образом, получен искомый шифр ремонтпригодности основных узлов тормозной рычажной передачи тележки 1–2–5–7–8–10.

Используя приведенную технологию, можно получить шифры для остальных элементов тормозной системы вагона. Отдельно выделим пневматическую часть тормозной системы, особенностью которой является наличие таких весьма сложных устройств, как воздухораспределитель и авторежим. В первую очередь рассмотрим отказ из-за неисправности воздухораспределителя. К задержке поезда на гарантийном участке могут привести: засоренные отверстия плунжера или внутренней полости; утечки воздуха в большой диафрагме; большие отверстия плунжера и толкателя из-за некачественного изготовления или ремонта; загрязнение фильтра в рабочей камере; отверстие диаметром 1,3 мм в седле обратного клапана меньше нормы или засорено; отверстие диаметром 1,3 мм в седле обратного клапана больше нормы. Внешними признаками этих неисправностей становятся несрабатывание на торможение или замедленный отпуск.

Отметим, что подобные неисправности на ПТО имеют низкую контролепригодность, их наличие выявляется только при проведении опробования автотормозов поезда, а степень приближения к неработоспособному состоянию оценить не представляется возможным. Вероятность нахождения дефектов воздухораспределителя возрастает при опробовании автотормозов от стационарных установок (УЗОТ, УЗОТ-РМ, АСДТ). Поэтому искомым шифром ремонтпригодности воздухораспределителя будет иметь два шифра:

- при опробовании автотормозов от локомотива 1–3–6–12;
- при опробовании от стационарной установки 1–3–5–7–10.

У авторежима в эксплуатации могут возникнуть неисправности его внутренних составных частей, излом балочки авторежима. Зачастую они связаны

с неправильной сборкой и монтажом при изготовлении или плановом ремонте. Внешними признаками неработоспособного состояния авторежима, согласно действующей нормативно-технической документации, являются: у порожнего вагона – зазор больше 3 мм, кольцевой проточки не видно; у груженого вагона – зазор между упорной гайкой и упорной плитой; тормоз у вагона не отпускает при открывании выпускного клапана. Шифр ремонтпригодности для авторежима будет 1–2–5–9–11.

Причинами отказов тормозных цилиндров служат следующие неисправности:

- разрыв резиновых манжет на поршне – в этом случае при срабатывании ТЦ на торможение наблюдаться «дутье» воздуха по штоку;
- излом возвратной пружины поршня, который приводит к замедленному перемещению поршня со штоком в исходное положение при отпуске тормоза;
- засорение волосяного фильтра атмосферного окна – при этом работа ТЦ станет неэффективной, воздух не сможет циркулировать через атмосферное окно, что в свою очередь с созданием большого давления воздуха в цилиндре при максимальных нагрузках вагона может привести к выдавливанию наружу самого фильтра (или сальника в передней части крышки), попаданию грязи на зеркало цилиндра (или трубу) и как следствие – заклиниванию поршня в крайних или промежуточных положениях.

Шифром ремонтпригодности для тормозного цилиндра будет 1–2–5–9–11.

Далее рассмотрим рычажную передачу вагона, повреждениями которой, согласно анализу, являются: неисправность авторегулятора, косвенным признаком которой является зазор «колодка – колесо» выше установленной нормы; обрыв тормозной тяги. Таким образом, тормозная рычажная передача вагона является полностью контролепригодной в эксплуатации. Все эти отказы возникают по причине некачественного изготовления или ремонта. Искомым шифром ремонтпригодности для тормозной рычажной передачи вагона будет: 1–2–5–7–10.

Необходимо отметить неисправности и таких узлов, приводящих к отказу тормозной системы вагона, как стояночный тормоз и запасный резервуар.

Согласно опыту эксплуатации встречаются случаи падения деталей стояночного тормоза на путь. Это происходит из-за излома деталей крепежного механизма (шплинтов, пальца и т.п.) или поддерживающей скобы, что является следствием развития трещин или чрезмерного износа.

Как известно, трещины чаще всего возникают в невидимой для осмотра зоне. Но при своём развитии они могут выйти в видимую зону, а может и произойти излом без выхода в видимую зону. Поэтому можно считать, что трещины деталей стояночного тормоза не всегда возможно выявить при осмотре на ПТО. Поэтому этот отказ отнесём к частично контролепригодным в эксплуатации. Шифр ремонтпригодности стояночного тормоза будет: 1–3–2–5–7–10.

Отказ запасного резервуара возникает, в основном, по причине неисправности спускного клапана из-за утечек, неоткрытия, механических повреждений, а также не плотности в соединениях. Его в определенной мере также можно отнести к полностью контролепригодным в эксплуатации. Искомый шифр ремонтпригодности запасного резервуара будет: 1–2–5–7–10.

В заключении рассмотрим воздушную и силовую части тормозной системы вагона, для которых характерны следующие неисправности: трещины, ослабление крепления воздухопровода, обрыв труб, изломы, замерзание влаги в трубах и засорение их, нарушение плотности соединений труб, пропуск воздуха в кранах.

Воздухопровод и тормозная арматура могут иметь неисправности, вызывающие утечки воздуха или создающие препятствие для его прохода. В тормозных рукавах появляется расслоение резины, препятствующее проходу воздуха, наблюдается пропуск воздуха в соединении головок при неисправности уплотнительного кольца, прорывам и потёртостям в резиновой трубке, в соединениях резиновой трубки с головкой или наконечником или по трещинам.

Пропуск воздуха или ослабление крепления встречается также у рабочих камер, разобщительных и концевых кранов.

Плотность тормозной сети проверяется при опробовании тормозов. Утечки обнаруживаются по шуму воздуха, выходящего через неплотности, по темным пятнам на трубах, скоплению пыли и грязи с характерной шероховатой поверхностью, в зимний период в местах образования утечек наблюдается валик в виде инея.

Таким образом, по отношению к рассматриваемым повреждениям тормозную магистраль и арматуру тормозного оборудования вагона можно отнести к частично или ограниченно контролепригодным в эксплуатации. Существующий уровень приспособленности к текущему техническому содержанию оценивается шифром: 1–2–4–5–7–10.

Проведенный анализ показал, что причины возникновения отказов тормозной системы вагона при следовании поезда по гарантийному участку можно разделить на следующие группы:

- 1) конструктивные (связанные с несовершенством конструкции или некачественным изготовлением);
- 2) производственные (связанные с некачественным ремонтом);
- 3) эксплуатационные (связанные с нарушением правил эксплуатации);
- 4) деградационные (связанные с естественными процессами разрушения, старения, износа и др.).

Необходимо отметить, что отказы первых трёх групп не имеют отношения к свойству «надёжности» тормозной системы поезда, однако учитываются при определении надёжности работы транспорта, влияют на задержки в движении и могут приводить к нарушениям безопасности движения [33].

В основном не выявленные в процессе технического обслуживания на ПТО отказы связаны с усталостью металла, а также износом узлов трения. Для обоснования периодичности проведения технического обслуживания вагонов особый интерес представляет период от появления отказа до разрушения детали. Это состояние принято называть живучестью, т.е. приспособленностью выполнять требуемые функции, находясь в неработоспособном состоянии. Для уменьшения этого периода можно использовать технические средства

диагностирования, которые могли бы выполнять основную часть функций осматривающих вагонов по контролю технического состояния тормозного оборудования вагонов в процессе технического обслуживания, в частности для выявления трещин, однако они еще не разработаны. Поэтому необходима высокая квалификация и опыт осматривающего вагонов, а также – разработка передовых методов выявления дефектов по косвенным и прямым признакам.

Необходимо отметить, что для снижения числа отказов из-за низкого качества ремонта тормозного оборудования грузовых вагонов, выполняемого вагоноремонтными предприятиями, ОАО «РЖД» проводит определенную работу:

- актуализацию нормативных актов, определяющих на законодательном уровне условия допуска подвижного состава на инфраструктуру;
- реализацию барьерных функций по допуску вагонов на инфраструктуру;
- взаимодействие в оценке соответствия вагонов и вагоноремонтных предприятий нормам безопасности;
- ограничение эксплуатации грузовых вагонов с низким уровнем надёжности;
- ужесточение требований правил ремонта вагонов и их узлов.

Следует обратить внимание и на отказы, связанные с несовершенством конструкции тормозной системы вагона. Как известно, наиболее актуально решать вопрос совершенствования конструкции на стадии проектирования. Повышение качества проектов тормозных систем грузовых вагонов основано на методах комплексного анализа и оценки показателей качества функционирования конструкции в широком спектре существующих и перспективных условиях эксплуатации. Создание вагонов нового поколения обуславливают актуальность разработки технических требований на перспективные тормозные системы на основе всестороннего системного анализа особенностей функционирования существующих, обоснования требуемых выходных характеристик и нормативов. На сегодняшний день используемые на стадии проектирования методы не позволяют оценить влияние эксплуатационных условий на показатели качества функционирования автотормозов [23].

Полученные шифры ремонтпригодности тормозной системы вагона должны использоваться на этапе проектирования узлов и обоснования параметров системы их технического обслуживания и ремонта. На практике полученные результаты можно применять для разделения ответственности за отказ тормозной системы вагона между осмотрщиком вагона, который не обнаружил имеющееся опасное повреждение на ПТО, и работниками вагоноремонтных депо, предприятий-изготовителей.

Одного этапа проектирования недостаточно. Еще одним, немаловажным решением должна стать и модернизация тормозных систем уже эксплуатируемых грузовых вагонов, их оснащение специальными метками или индикаторами контроля отклонений от нормального состояния. Внедрение современных систем визуального осмотра деталей и узлов вагона по меткам и индикаторам позволит существенно сократить непроизводительные потери, возникающие при техническом обслуживании вагонов в составе поезда. Для обеспечения этих возможностей на узлы и детали вагона при их изготовлении должны наноситься индикаторы или риски, позволяющие минимизировать объем работы осмотрщика вагонов в определении износов этих узлов и деталей, исключить применение специальных шаблонов. Предусмотреть оснащение деталей и узлов тормозного оборудования грузовых вагонов (тормозная колодка, тормозной цилиндр, регулятор тормозной рычажной передачи) следующими индикаторами контроля:

- тормозная колодка – должна иметь индикатор или риску, позволяющую определить минимально допустимую толщину, при которой колодка подлежит замене;

- тормозной цилиндр – на штоке тормозного цилиндра должен быть индикатор или риска, указывающая на предельно допустимые размеры выхода штока из цилиндра;

- регулятор тормозной рычажной передачи – должен иметь:

- а) в зависимости от типа регулятора индикатор или риску, определяющую размер «а» – расстояние от торца муфты защитной трубы регулятора до присоединительной резьбы на его винте;

б) в зависимости от типа вагона, тормозных колодок и привода регулятора индикатор или риску определяющую размер «А» – установочный размер привода регулятора (зазор между корпусом регулятора и упорным рычагом (упором регулятора)).

Таким образом, анализ тормозной системы грузового вагона как объекта ремонта и технического обслуживания показал, что имеющие место отказы и неисправности обуславливают актуальность комплексных подходов при решении задач, охватывающих сферу проектирования, конструирования, ремонта и эксплуатации. Реализация комплексных подходов потребует проведения определенных исследований и анализа причинно-следственных связей, обуславливающих выявление неблагоприятных факторов, ухудшающих техническое состояние конструкции, с целью дальнейшего их устранения. В перспективе необходимо повышение надёжности элементов тормозной системы вагонов, в том числе улучшения контроле- и ремонтпригодности. Дополнительные затраты на изменение конструкции автотормозного оборудования и совершенствование системы его ремонта должны компенсироваться уменьшением затрат на техническое обслуживание и оплаты штрафов за задержку поездов на перегонах. При этом инвестиции, вложенные во внедрение современных средств технической диагностики вагонов в условиях ПТО, окупят устранение последствий даже одного крушения или аварии поезда средних размеров.

Для определения параметра безопасности вагона, от уровня которого зависит величина гарантийных участков ПТО нужно располагать перечнем деталей и узлов вагона, а также их отказов, которые могут привести к крушению поезда. Для формирования научно обоснованного списка составных частей вагона воспользуемся древовидной моделью аварийности вагона.

2.3 Древовидная модель аварийности грузового вагона

Конструкция грузовых вагонов состоит из множества отдельных узлов и деталей, и каждая из них должна безотказно функционировать в течение определённого периода времени в процессе эксплуатации. При этом в конструкции грузового вагона можно выделить несколько групп узлов и деталей [61]:

- 1) узлы и детали, отказы которых не влияют на работоспособность и на выходные параметры вагона;
- 2) узлы и детали, работоспособность которых за рассматриваемый промежуток времени практически не изменяется;
- 3) узлы и детали, отказы которых за рассматриваемый период времени могут привести к отказу вагона;
- 4) узлы и детали, контроль технического состояния, ремонт и техническое обслуживание которых возможен, не прерывая процесс использования вагона;
- 5) узлы и детали, с ограниченной контролепригодностью, отказы которых могут немедленно привести к крушению поезда.

Безопасность движения определяют детали, входящие в последнюю группу. Ограниченная или низкая контролепригодность некоторых элементов вагонных конструкций существенно усложняет работу пунктов технического обслуживания. Работники ПТО (осмотрщики) вагонов не вооружены соответствующими техническими средствами обнаружения признаков опасных отказов, а полагаются на свой практический опыт, интуицию и органолептические методы контроля (слух, зрение, осязание и т.п.), но при этом несут ответственность за безаварийное проследование вагона в составе поезда на гарантийном участке ПТО.

Определение опасных отказов, влияющих на безопасность движения, и для которых в первую очередь интересует вероятность безотказной работы, возможно при построении схемы модели аварийности вагона в виде дерева событий [6]. В качестве вершинного события T рассмотрен сход вагона с рельсов.

Под древовидной моделью аварийности вагона понимается дерево событий

– знаковая форма логического сведения вершинного или конечного события к элементарным событиям. Логические связи между событиями отображаются в направленном графе, имеющем древовидную структуру. Для построения дерева событий используется специальная символика. Состояние элементов представляют в виде прямоугольников (сложное событие) и кружками – элементарные, не разлагаемые события. Взаимосвязь между событиями отображают с помощью следующих трёх логических операторов:

оператор И (схема совпадающая с операцией $\cap$): сигнал на выходе появляется только тогда, поступают все входные сигналы (рисунок 2.2);



Рисунок 2.2 – Оператор И

оператор ИЛИ (схема совпадающая с операцией $\cup$): сигнал на выходе появляется при поступлении на вход хотя бы одного сигнала (рисунок 2.3);

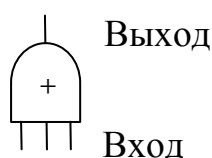


Рисунок 2.3 – Оператор ИЛИ

оператор на рисунке 2.4 означает, что сигнал на выходе появляется только при выполнении определенного условия.



Рисунок 2.4 – Условный оператор

В качестве вершинного события в упомянутой древовидной модели аварийности целесообразно рассмотреть событие (обозначим К):

$$K = \left\{ \begin{array}{l} \text{за рассматриваемый период} \\ \text{времени } t \text{ произойдёт крушение поезда} \end{array} \right\}.$$

Учитывая то обстоятельство, что крушению поезда зачастую предшествует сход с рельсов какого-либо вагона поезда, либо столкновение, то событие K в графической форме можно представить в виде схемы, приведенной на рисунке 2.5.

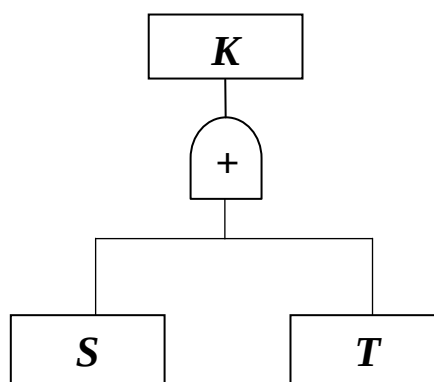


Рисунок 2.5 – Схема разложение вершинного события

На рисунке 2.5 изображены два события:

$S = \{\text{столкновение поезда за время } t\}$ и

$T = \{\text{сход вагона с рельсов за время } t\}$.

Тогда в случае независимости событий S и T вероятность крушения поезда определяется:

$$P\{K\} \approx P(S) + P(T). \quad (2.1)$$

Вероятность события S зависит от многих факторов: ошибки локомотивной бригады, отказы автотормозного оборудования поезда, ошибки работников службы движения, ложное срабатывание стрелочных переходов и т.п. Для события T в упомянутой выше работе Вологдиной Л.Б. получено выражение для определения его вероятности. Получим дерево событий относительно каждого из событий S и T .

2.4 Дерево событий относительно схода вагона с рельсов

В работе [6] выполнено построение дерева событий относительно рассматриваемого события T . Модернизируем построенное дерево. Более подробно рассмотрим событие, связанное с падением деталей автотормоза на путь.

Согласно статистическим данным, причиной схода вагонов с рельсов становится падение на путь триангеля тележки [18]. В работе приведён пример построения дерева событий, приводящих к этому событию.

Рассмотрим в качестве вершинного разлагаемого события «падение триангеля на путь за время t ». Приведём пример использования регулярной процедуры, используемой для построения древовидной модели. Для этого последовательно отвечаем на следующие вопросы.

Вопрос 1: Какие события могут привести к падению триангеля на путь?

Ответ: Это произойдёт в случае, если происходит нарушение его подвешивании к боковине тележки, обозначим событие «Освобождение триангеля», и при этом возникнет «Неработоспособное состояние предохранительного устройства».

Вопрос 2: Достаточно ли произойти любому из этих двух событий?

Ответ: Чтобы наступило вершинное событие, необходимо наступление обоих событий. Тогда в древовидной структуре они соединены логическим оператором «И» (рисунок 2.6).

Вопрос 3.1: Требуется ли дальнейшее разложение события «Неработоспособное состояние предохранительного устройства»?

Ответ: Нет. Будем рассматривать это событие как элементарное (неразлагаемое), обозначим его X_1 .

Вопрос 3.2: Требуется ли дальнейшее разложение события «Освобождение триангеля»?

Ответ: Да. Рассмотрим его в качестве вершинного и повторяем процедуру.

Какие события могут привести к «Освобождению триангеля»? К этому событию приводят «Излом триангеля» (обозначим его X_2), «Обрыв подвески»

триангеля (обозначим его X_3), «Излом кронштейна подвески» триангеля (обозначим его X_4), «Выпадение валика подвески» триангеля». Достаточно ли произойти любому из событий? Да, для наступления вершинного события достаточно любого из перечисленных событий. Тогда в логической схеме они будут соединены оператором «ИЛИ». Нужно ли дальнейшее разложение перечисленных событий. В дальнейшем будем рассматривать только последнее событие, приняв его вершинным и повторив процедуру.

Какие события могут привести к «Выпадению валика» подвески триангеля? К событию могут привести «Неисправность предохранительного устройства (шплинта)» и «Вибрация тележки» (обозначим его X_5). Для наступления вершинного события должны произойти оба события, тогда они соединены оператором «И». Рассмотрим дальнейшее разложение только для первого события.

Какие события могут привести к «Неисправности предохранительного устройства (шплинта)»? К этому событию могут привести: «Срез шплинта» (обозначим X_6), «Излом концов» шплинта (обозначим X_7), «Износ отверстия валика под шплинт» (обозначим X_8), «Неправильная установка» шплинта (обозначим X_9). В рамках решаемой задачи дальнейшее разложение перечисленных событий не будем.

Таким образом, для события «Падение триангеля» на путь получено дерево событий (рисунок 2.6).

Оно позволяет уточнить дерево событий относительно схода вагонов с рельсов, полученное в работе [6].

Поскольку полученная древовидная структура не приспособлена к количественному определению вероятности вершинного события, то необходимо от древовидного представления перейти к двухполюсному, например, с помощью метода минимальных сечений.

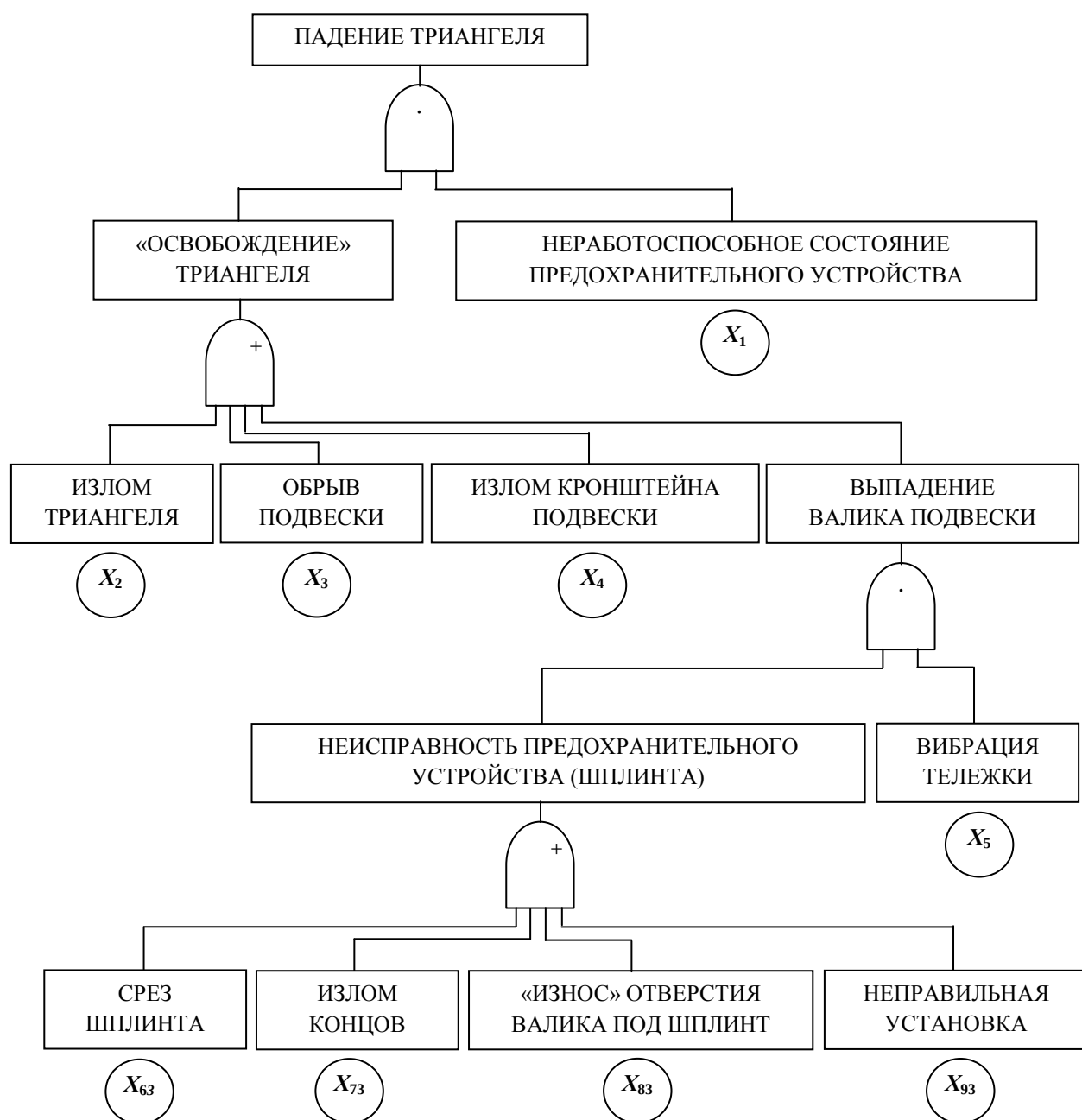


Рисунок 2.6 – Схема дерево событий относительно падения триангеля на путь

Под сечением будем понимать совокупность элементов системы, отказ любого из которых гарантирует отказ системы. Приведём методику упомянутого выше перехода. Для этого воспользуемся методом нахождения подмножества минимальных сечений дерева событий (рисунок 2.6). При этом будем иметь ввиду, что список элементов, принадлежащих ко множеству минимальных сечений, имеет матричную структуру, которая строится согласно мнемоническому правилу:

- если промежуточным или вершинным событием управляет оператор «ИЛИ», то заменяем это событие на входные элементы отдельным столбцом;

- если промежуточным или вершинным событием управляет оператор «И», то заменяет это событие на входящие в виде отдельной строки.

Поиск минимального сечения начинаем с рассмотрения вершинного события. Им управляет оператор «И», поэтому заменяем его на входящие строкой.

Событием «Освобождение триангеля» управляет оператор «ИЛИ», поэтому заменяем его входящими в виде столбца.

Событием «Выпадение валика подвески» управляет оператор «И», поэтому заменим его входящими в виде строки.

Событием «Неисправность предохранительного устройства (шплинта)» (обозначено {Неисправность шплинта}) управляет оператор «ИЛИ», поэтому заменяем его на входящие в виде столбца.

$$\{\text{Падение триангеля}\} = [\{\text{Освобождение триангеля}\} \quad X_1] =$$

$$= \left| \begin{array}{ccc} & X_2 & X_1 \\ & X_3 & X_1 \\ & X_4 & X_1 \\ \{\text{Выпадение валика подвески}\} & X_1 & \end{array} \right| = \left| \begin{array}{ccc} & X_2 & X_1 \\ & X_3 & X_1 \\ & X_4 & X_1 \\ X_5 & \{\text{Неиспр. шплинта}\} & X_1 \end{array} \right| =$$

$$= \left| \begin{array}{ccc} & X_2 & X_1 \\ & X_3 & X_1 \\ & X_4 & X_1 \\ X_5 & X_6 & X_1 \\ X_5 & X_7 & X_1 \\ X_5 & X_8 & X_1 \\ X_5 & X_9 & X_1 \end{array} \right|.$$

Таким образом, получили матрицу минимальных сечений. Каждая строка матрицы есть минимальное сечение рассматриваемой системы. В итоге получена параллельно-последовательная структура рассматриваемой системы (рисунок 2.7).

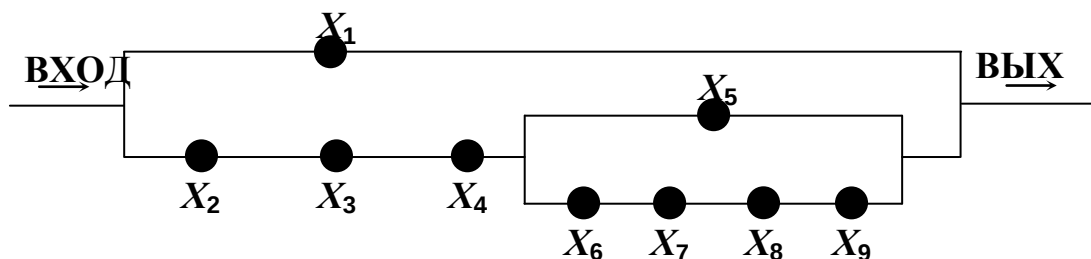


Рисунок 2.7 – Схема двухполюсной модели представления дерева событий

Используя методы теории надёжности, получим формулу вероятности падения триангеля на путь:

$$F_m(t) = 1 - \bar{F}_{X1}(t) \cdot \left(1 - \prod_{i=2}^4 \bar{F}_{Xi}(t) \cdot \left(\bar{F}_{X5}(t) \cdot \left(1 - \prod_{j=6}^9 \bar{F}_{Xj}(t) \right) \right) \right), \quad (2.2)$$

где F_{Xk} – функция распределения наработки до события X_k , $k = \overline{1,9}$, входящего в древовидную структуру.

Таким образом, нетрудно получить дерево событий и относительно схода вагона с рельсов, учитывая древовидную модель относительно падения триангеля на путь.

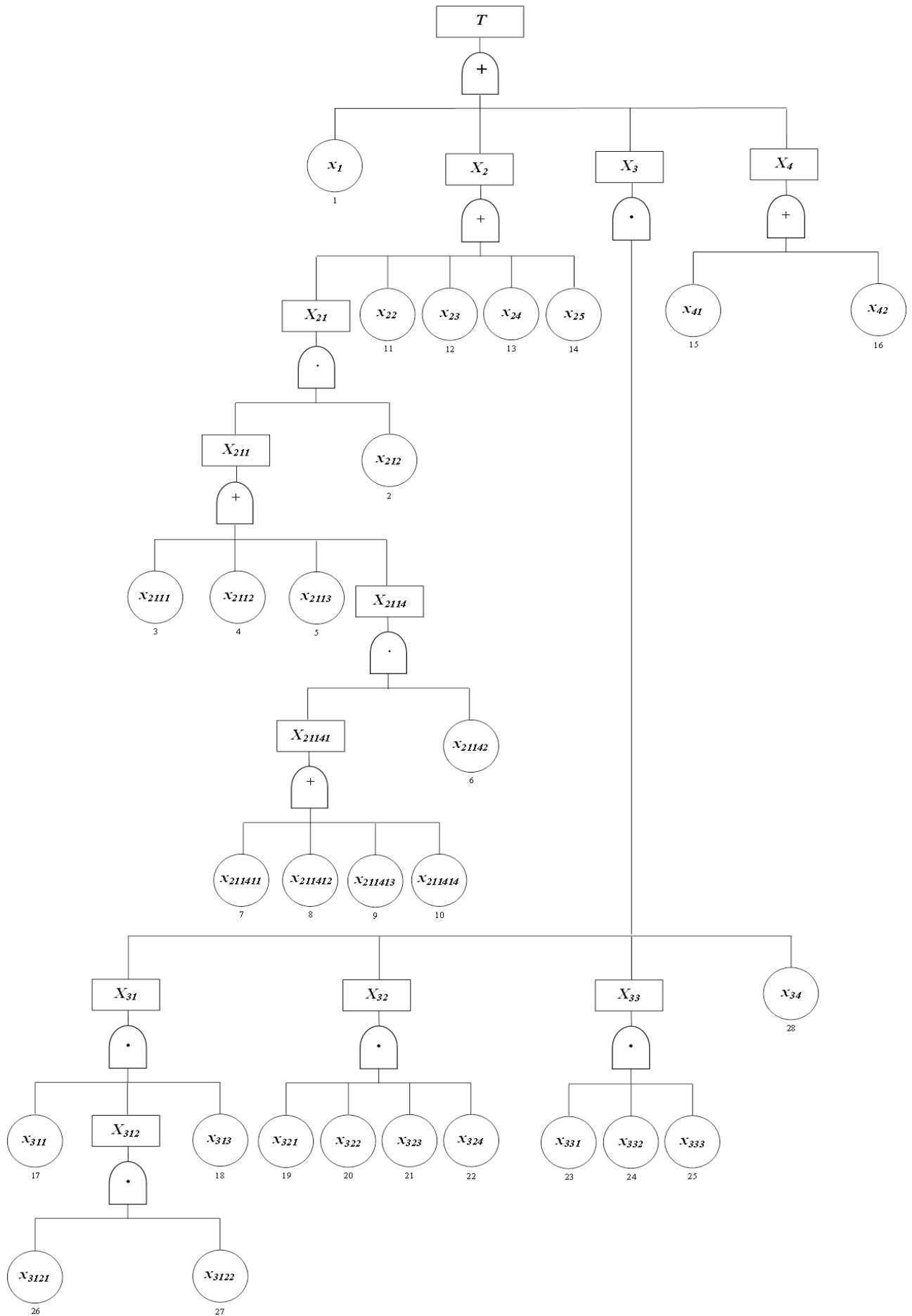


Рисунок 2.8 – Схема древовидной модели схода вагона с рельсов

где событие x_1 – разрушение колеса, X_2 – обрыв и падение деталей на путь, X_3 – вкатывание гребня колеса на головку рельса, X_4 – разрушение шейки оси, X_{21} – падение триангеля на путь, X_{211} – освобождение триангеля; x_{212} – неработоспособное состояние предохранительного устройства; x_{2111} – излом триангеля; x_{2112} – обрыв подвески; x_{2113} – излом кронштейна подвески; X_{2114} – выпадение валика подвески; X_{21141} – неисправность предохранительного устройства (шплинта); x_{211411} – срез шплинта; x_{211412} – излом концов; x_{211413} – износ отверстия валика шплинта; x_{211414} – неправильная установка; x_{21142} – вибрация тележки [подробно рассмотрена в работе [18]], x_{22} – разрушение боковины тележки, x_{23} – разрушение надрессорной балки, x_{24} – разрушение деталей ударно-тягового механизма, x_{25} – разрушение деталей тормозного оборудования, X_{31} – угол набегания колеса на рельс превышает допуск, X_{32} – угол наклона образующей гребня колеса к горизонтали вне пределов допуска, X_{33} – горизонтальная составляющая нагрузки на колесо намного превышает вертикальную, X_{34} – неблагоприятное сочетание параметров пути и ходовых частей вагона, x_{41} – разрушение сепаратора подшипника, x_{42} – разрушение кольца подшипника, x_{311} – не отрегулированы зазоры в скользунах, X_{312} – перекося колёсных пар в тележке, x_{313} – завышение фрикционных клиньев превышает предельное значение, x_{321} – отклонение характеристик рессорного подвешивания от номинала превышает допуск, x_{322} – разность диаметров колёс в колёсной паре превышает допуск, x_{323} – забегание боковых рам тележки, x_{331} – нарушение режима движения в кривых малого радиуса, x_{332} – поперечное смещение центра масс груза превышает норму, x_{333} – выжимание порожнего вагона, x_{324} , x_{3122} – превышение нормы зазоров в продольных и поперечных направлениях между корпусом буксы и буксовыми направляющими боковины, x_{3121} – износ опорных поверхностей боковины тележки превышает допуск.

Однако древовидная модель аварийности вагона не приспособлена к количественному определению вероятности завершающего события, то от древовидной модели аварийности переходят к двухполюсной (рисунок 2.9),

используя для этого известный в теории надёжности метод минимальных сечений дерева событий.

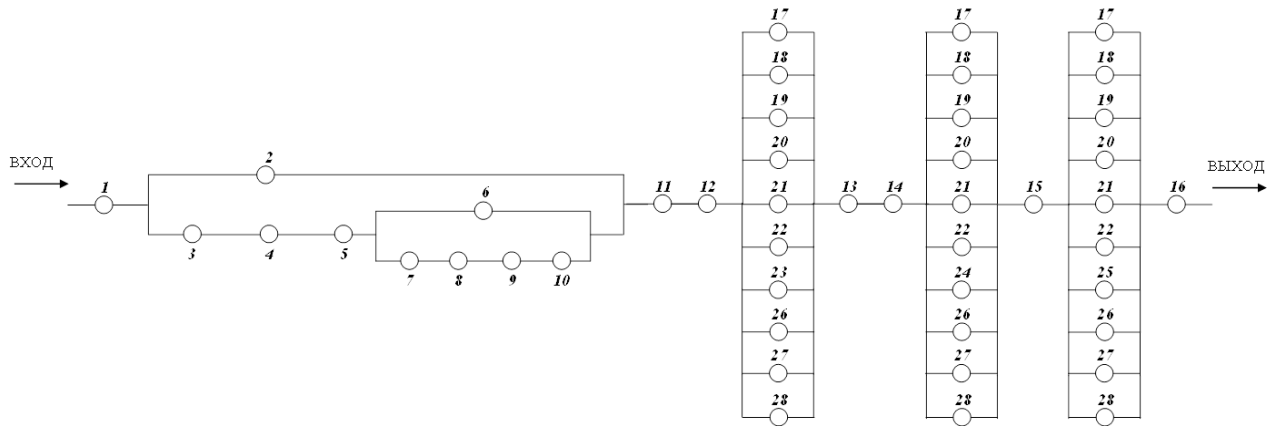


Рисунок 2.9 – Схема двухполюсной модели относительно схода вагона с рельсов

Из рисунка 2.9 получим формулу вероятности схода вагона с рельсов:

$$F(t) = 1 - \bar{F}_1(t) \cdot A \cdot \prod_{i=11}^{16} \bar{F}_i(t) \prod_{k=23}^{25} [1 - B \cdot F_k(t)]; \quad (2.3)$$

$$A = \left(\bar{F}_2(t) \cdot \left(1 - \prod_{i=3}^5 \bar{F}_i(t) \left(\bar{F}_6(t) \cdot \left(1 - \prod_{i=7}^{10} \bar{F}_i(t) \right) \right) \right) \right); \quad (2.4)$$

$$B = \prod_{i=17}^{22} F_i(t) \cdot \prod_{k=26}^{28} F_j(t) \quad \bar{F}_i(t) = 1 - F_i(t), \quad (2.5)$$

где $F_i(t)$ – вероятность безотказной работы деталей.

Из рисунка 2.9 видно, что среди всех возможных отказов, приводящих к сходу вагона с рельсов, можно выделить две группы [58]. Первая группа отказов – это те отказы (события обозначенные цифрами 1-4, 14, 15), возникновение которых сразу приводит к сходу вагона с рельсов. Вторая группа отказов – это отказы, которые должны наступить совместно, чтобы произошёл сход. Следовательно, безопасность вагонных конструкций относительно схода вагонов с рельсов в первую очередь определяют отказы первой группы (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Отказы, приводящие к сходу вагона с рельсов

№	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 сепаратора подшипника	x_{41}
6	Разрушение кольца подшипника	x_{42}

2.5 Формирование модели столкновения

Дерево событий относительно столкновения поезда является второй составляющей древовидной модели аварийности вагона. В отличие от дерева, где вершинное событие – {сход вагона с рельсов за время t }, в данном случае речь пойдет о тормозной системе грузового поезда (ТСП). Это система имеет значительную особенность, она существует только в пределах между соседними операциями по сортировке поезда. При этом стоит отметить, что в поездах постоянного формирования период существования тормозной системы поезда в неизменном виде гораздо больше, а, например, в тормозной системе пассажирских поездов существует несколько сменных элементов – это локомотив и прицепные в пути следования вагоны.

Будем полагать, что столкновение поезда происходит вследствие отказа тормозной системы поезда за время t . К элементам рассматриваемой системы поезда относятся тормозные системы каждого вагона и локомотива и их компоненты. Структурный анализ должен позволить выявить связи в тормозной системе двух видов «Элемент-Элемент» и «Элемент-Система». Поскольку речь пойдет об отказе ТСП, следует рассмотреть требования, заложенные в нормативно-технической документации (НТД). Так, в инструкции по обслуживанию, эксплуатации и ремонту тормозов сформулированы следующие требования к тормозной системе при отправлении поезда со станции [45].

- 1) Свободный проход воздуха по тормозной магистрали (ТМ) поезда

(контролируется открытием концевого крана последнего вагона при опробовании тормозов).

2) Падение давления в ТМ поезда не должно превышать допускаемого значения, т.е. суммарные утечки воздуха через неплотности ТМ поезда не должны быть выше порогового значения (контролируют по манометру, подсоединяемому к головке рукава последнего вагона, одновременно машинист фиксирует падение давления на локомотиве за время t).

3) Суммарное нажатие колодок на колесо должно быть больше расчётного, определяемого с учётом фактического веса вагона. Допускается следование вагона с отключённым разобщительным краном, если в поезде хватает суммарного тормозного нажатия. Не допускается следование поезда с отключённым тормозом у двух хвостовых вагонов.

4) Правильность включения режимов ВР вагонов.

5) Правильность регулирования ТРП вагона, контролируемая по величине выхода штока ТЦ и зазора между колодкой и колесом.

6) Целостность ТРП (прижатие всех колодок вагона к колёсам).

7) При первой ступени торможения должны срабатывать ВР всех вагонов и не срабатывать самопроизвольно на отпуск.

8) При отпуске тормозов должны все ВР срабатывать на отпуск.

В системах при анализе структуры можно выделить три следующих вида элементов:

1) выходной параметр элемента не участвует в формировании выходного параметра системы, кроме того, изменение выходного параметра элемента не влияет состояние других элементов;

2) выходной параметр элемента участвует в формировании одного или несколько выходных параметров системы. Например, величина тормозного усилия вагона не влияет на аналогичный показатель соседнего вагона, однако определяет величину суммарного тормозного усилия поезда;

3) выходной параметр влияет на состояние других элементов, т.е. его изменению эквивалентно изменению внешних условий работы соседних

элементов.

Под выходным параметром понимается параметр, характеризующий и обобщающий результат использования объекта по его назначению (например: часы – точность, надрессорная балка – прочность) [61].

Нетрудно заметить, что элементы тормозной системы поезда попадают под второй или третий случай. Это означает, что система имеет связанную структуру. В этом случае анализировать надёжность элементов вне системы следует с большой осторожностью. В качестве примера можно привести ТРП вагона, которая предназначена для точного перемещения тормозной колодки, передачи усилия от ТЦ. Надёжность зависит от износостойкости всех шарнирных соприкосновений. Однако износ каждого шарнира не может быть лимитирован независимо от износа других шарниров, поскольку большой износ одного из них может компенсироваться высокой износостойкостью другого. Для таких систем необходимо одновременно рассматривать работу всех шарниров и на основании этого оценить надёжность всей тормозной рычажной передачи.

Будем полагать, что тормозная система поезда состоит из:

1) «Системы» управления и питания тормозов вагонов в составе, которая объединяет функции питания (или зарядки) тормозов вагонов, подготовки их к работе и управления, т.е. передачи от крана машиниста команд на торможение, отпуск, перекрышу, зарядку. Материальная часть этой системы включает:

- тормозную магистраль;
- концевые краны;
- тормозные рукава;
- головки тормозных рукавов;
- тройник-кронштейн;
- разобщительный кран;
- пылеулавливающую сетку;
- подводящие трубки к воздухораспределителю.

Тормозной прибор – воздухораспределитель должен распознать команды, подаваемые через пневматическую систему от крана машиниста и исполнить

соответствующие команды.

Стоит отметить, что в случае использования электропневматического тормоза в пассажирском поезде пневматическая часть (перечисленная выше) выполняет только зарядку и питание тормоза, а управление передает электрическая цепь, подключённая к электровоздухораспределителю. При этом тормоз становится неистощимым, т.е. исключаются случаи истощения тормозной системы, когда она не готова к действию. В случае необходимости, например, отказа электрической цепи, управляющие команды могут подаваться по пневматической системе (как на грузовых поездах). Таким образом, электрическая часть тормоза «резервирует» пневматическую систему управления тормозами.

2) «Системы» распознавания и исполнения команд на вагоне. Она имеет, во-первых пневматическую часть, включающую:

- воздухораспределитель вагона;
- запасной резервуар;
- тормозной цилиндр;
- авторежим;
- подводящие трубки;
- пневматический противоюз;
- пневматический авторегулятор.

Два последних элемента в настоящее время применяют только на пассажирских вагонах.

Во – вторых, механическую часть тормоза, которая передаёт и распределяет усилие, созданное тормозным цилиндром, по тормозным колодкам с помощью системы рычагов. Она включает:

- рычаги горизонтальные;
- затяжку горизонтальных рычагов;
- тяги (головную и тыловую);
- вертикальные рычаги, горизонтальные рычаг тележки;
- триангель/траверсу;

- кронштейн мёртвой точки;
- распорку вертикальных рычагов;
- тормозные башмаки;
- подвески триангеля;
- авторегулятор тормозной рычажной передачи с приводом
- валики соединения (шарниров).

Для определенности будем рассматривать тормозную систему грузового поезда.

Известно правило, что истинная вероятность безотказной работы (ВБР) последовательной системы для случая зависимых элементов будет выше, чем ВБР в предположении независимости элементов (что идёт в запас надёжности). Таким образом, соединив перечисленные выше элементы последовательно (в смысле надёжности), можно получить нижнюю оценку параметра ВБР. При этом этот запас может оказаться значительным.

Воспользуемся дедуктивным методом при получении вероятности отказа тормозной системы поезда за время t – методом построения дерева событий, т.е. сведём вершинное событие к элементарным, не разлагаемым событиям и отобразим это в направленном графе, имеющем древовидную структуру.

В качестве вершинного события рассмотрим событие: {Тормозная система откажет за время t }, т.е. перейдёт в неработоспособное состояние.

Тормозная система поезда предназначена для управления движением (рассеивания кинетической и потенциальной энергии движущегося или стоящего поезда). Это система представляет собой сложную систему высокого порядка, о чём свидетельствует дерево событий, построенное В.А. Карпычевым [23].

Для многих элементарных событий (составляющих) построенного дерева не представляется возможным оценить вероятности их отказов на основе существующих информационных систем.

Кроме того, рассмотрим только случаи, которые могут привести к столкновению поездов, т.е. отказ тормозной системы поезда при подаче сигнала на торможение. Неотпуск тормоза, самоторможение – соответствуют переходу

системы в неработоспособное состояние, но не приводят к столкновению поездов, а приводят к задержкам, и имеют последствия, измеряемые в денежном выражении.

Выделим следующие функции тормозной системы поезда.

1) Подача управляющих сигналов.

К ним относятся:

- команда торможение, при которой давление в ТМ должно снижаться темпом выше темпа мягкости;

- команда перекрыша (без питания), при которой давление в тормозной магистрали должно оставаться постоянным или повышаться не выше чувствительности;

- команда отпуск, по которой давление в ТМ должно быть выше давления в системе ЗР-ВР-ТЦ.

2) Зарядка тормоза вагонов в поезде:

- повышение давления в магистрали до зарядного;

- перекрыша с питанием.

3) Исполнение команд тормозной системой вагона.

Последствия при невыполнении функций приведены в таблице 2.5.

Как видно из таблицы 2.5, любое нарушение при исполнении функции соответствующих подсистем тормозов поезда может привести к задержке, но только неторможение или самопроизвольный отпуск тормоза, а также его истощение могут привести при роковом стечении обстоятельств к столкновению поезда. Поэтому будем рассматривать их в первую очередь.

Рассмотрим в качестве вершинного события, приводящего к столкновению поезда, событие S .

$S = \{\text{тормозная система перейдёт в неработоспособное состояние за время } t\}$.

Можно выделить первичный отказ тормозной системы и вторичный отказ из-за ошибки машиниста, диспетчера и т.д. Не будем рассматривать вторичный отказ тормозной системы поезда.

Таблица 2.5 – Возможные последствия отказов

Функции	Невыполнение действий	Последствия
1	Сигнал на торможение не проходит	Не торможение (аварийное состояние)
	Сигнал на отпуск не проходит	Не отпуск (задержка на перегоне)
	Сигнал на перекрышу не проходит	Самоторможение или самоотпуск (задержка или аварийное состояние)
	Ложный сигнал на торможение	Самопроизвольное торможение поезда (задержка на перегоне)
	Ложный сигнал на отпуск	Самопроизвольный отпуск (аварийное состояние)
2	Нет питания (зарядки)	Истощение тормоза (аварийное состояние)
	Нет перекрыши с питанием	Падение давления в магистрали Истощение тормоза (аварийное состояние)
3	Неисполнение команды торможение	Не торможение вагона (аварийное состояние)
	Неисполнение команды отпуск	Не отпуск тормоза вагона (задержка на перегоне)
	Неправильное исполнение торможения	Юз колесной пары или недостаточное нажатие колодок (аварийное состояние)
	Ложное срабатывание на торможение (исполнение без команды)	Самоторможение (задержка на перегоне)
	Ложное срабатывание отпуск (исполнение без команды)	Самоотпуск (аварийное состояние)

Рассмотрим регулярную процедуру построения дерева событий.

1 Какие события должны произойти, чтобы произошёл отказ тормозной системы поезда?

Обозначим события:

A – {переход в неработоспособное состояние подсистемы включения (управления) тормозов поезда};

B – {переход в неработоспособное состояние подсистемы зарядки тормозов (питания) поезда};

C – {переход в неработоспособное состояние подсистемы создания тормозной силы поезда}.

2 Достаточно произойти любому из событий, чтобы наступило событие S , поэтому эти события соединены оператором «ИЛИ». Тогда событие S имеет вид, представленный на рисунке (рисунок 2.10).

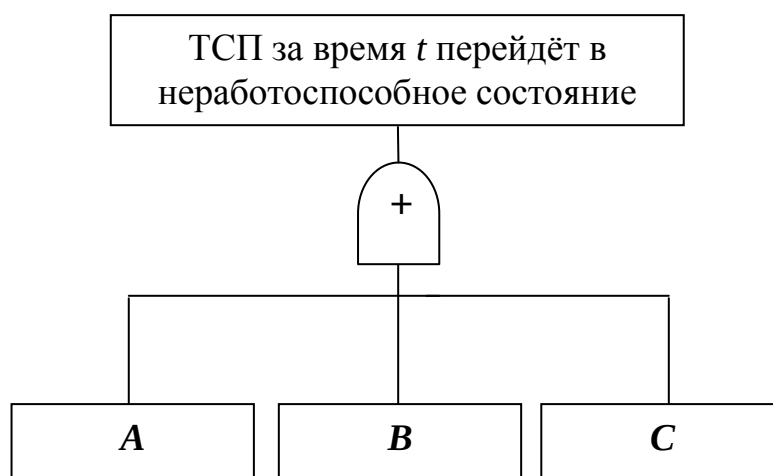


Рисунок 2.10 – Схема разложение события S

Рассмотрим событие A .

Переход в неработоспособное состояние подсистемы включения (управления) тормозов произойдёт, когда:

- не произойдет передача сигнала на торможение, т.е. команда на торможение не проходит. Обозначим это событие A_1 – не проходит сигнал на торможение;

- произойдёт подача ложного сигнала на отпуск тормозов поезда, т.е. самопроизвольная команда на отпуск. Обозначим событие A_2 – проходит ложный сигнал на отпуск тормозов в поезде;

- произойдёт запаздывание сигнала на торможение. Обозначим событие A_3 – происходит запаздывание сигнала на торможение.

Достаточно возникнуть хотя бы одному из событий, чтобы наступило событие A , следовательно, они соединены оператором «ИЛИ» (рисунок 2.11).

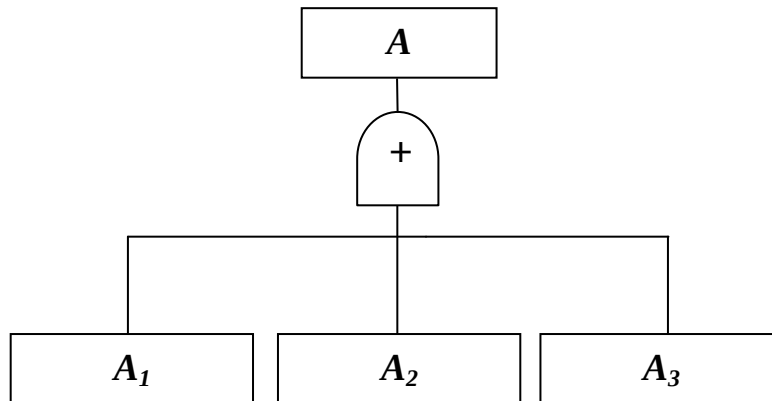


Рисунок 2.11 – Схема разложение события A

Можно отметить, что неисполнение остальных функций, перечисленных в таблице 2.5, а именно:

- не проходит сигнал на отпуск;
- не проходит сигнал на перекрышу;
- проходит ложный сигнал на торможение,

не приводят к событию S , однако их нужно будет учесть, если речь идёт о другом вершинном событии – отставании от графика движения (или задержке поезда).

Аналогично сведём остальные составляющие к элементарным.

К событию A_1 могут привести (рисунок 2.12): A_{11} – перекрыты концевые краны локомотива; A_{12} – нет прохода воздуха в магистрали первого вагона (засор или ледяная пробка); a_{13} – неисправен кран машиниста. Последнее не будем детализировать в дальнейшем и будем считать не разлагаемым.

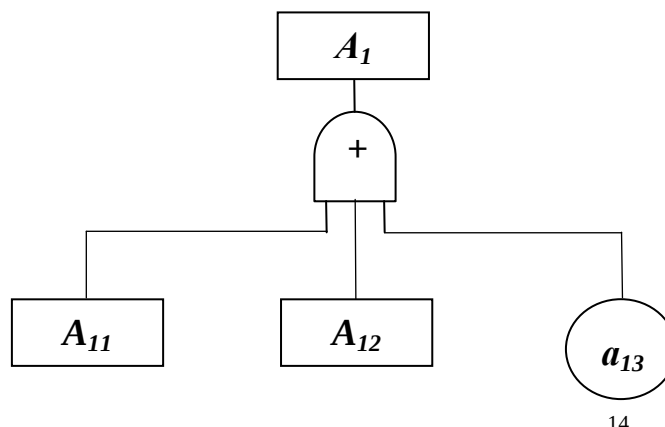


Рисунок 2.12 – Схема разложение события A_1

Аналогично получено дерево событий для A_{11} (рисунок 2.13).

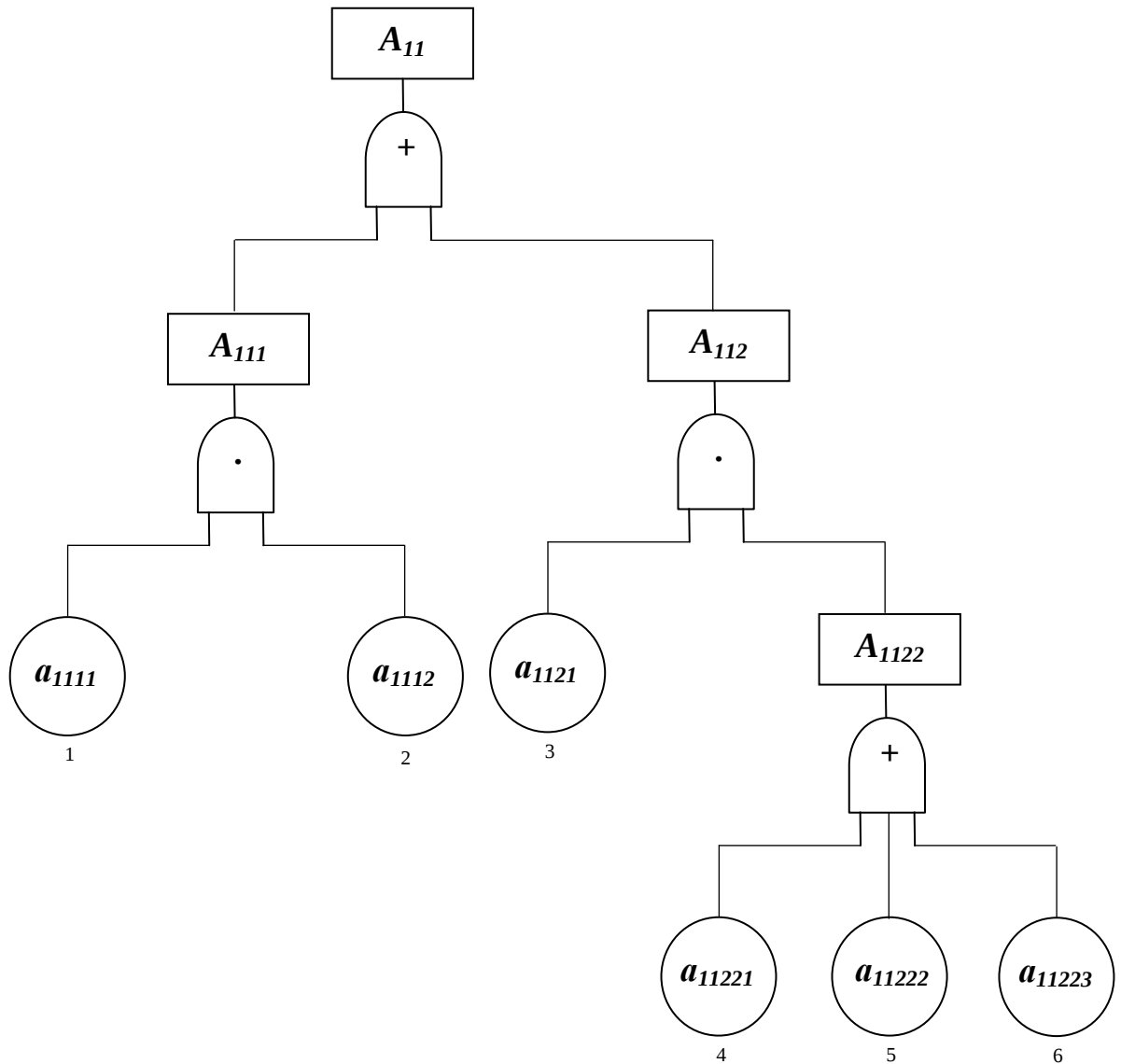


Рисунок 2.13 – Схема разложение события A_{11}

На рисунке 2.13 обозначены события: A_{111} – перекрытие не выявлено при опробовании; a_{1111} – кран не открыт; a_{1112} – автоматчики не проверяли тормоза; A_{112} – перекрыты после опробования (криминал); a_{1121} – кран перекрыт; A_{1122} – не выявлено по отправлению поезда; a_{11221} – автоматчик не заметил; a_{11222} – автоматчик не контролировал отправление поезда; a_{11223} – машинист не выполнил пробное торможение со скорости.

Рассмотрим событие A_{12} (рисунок 2.14).

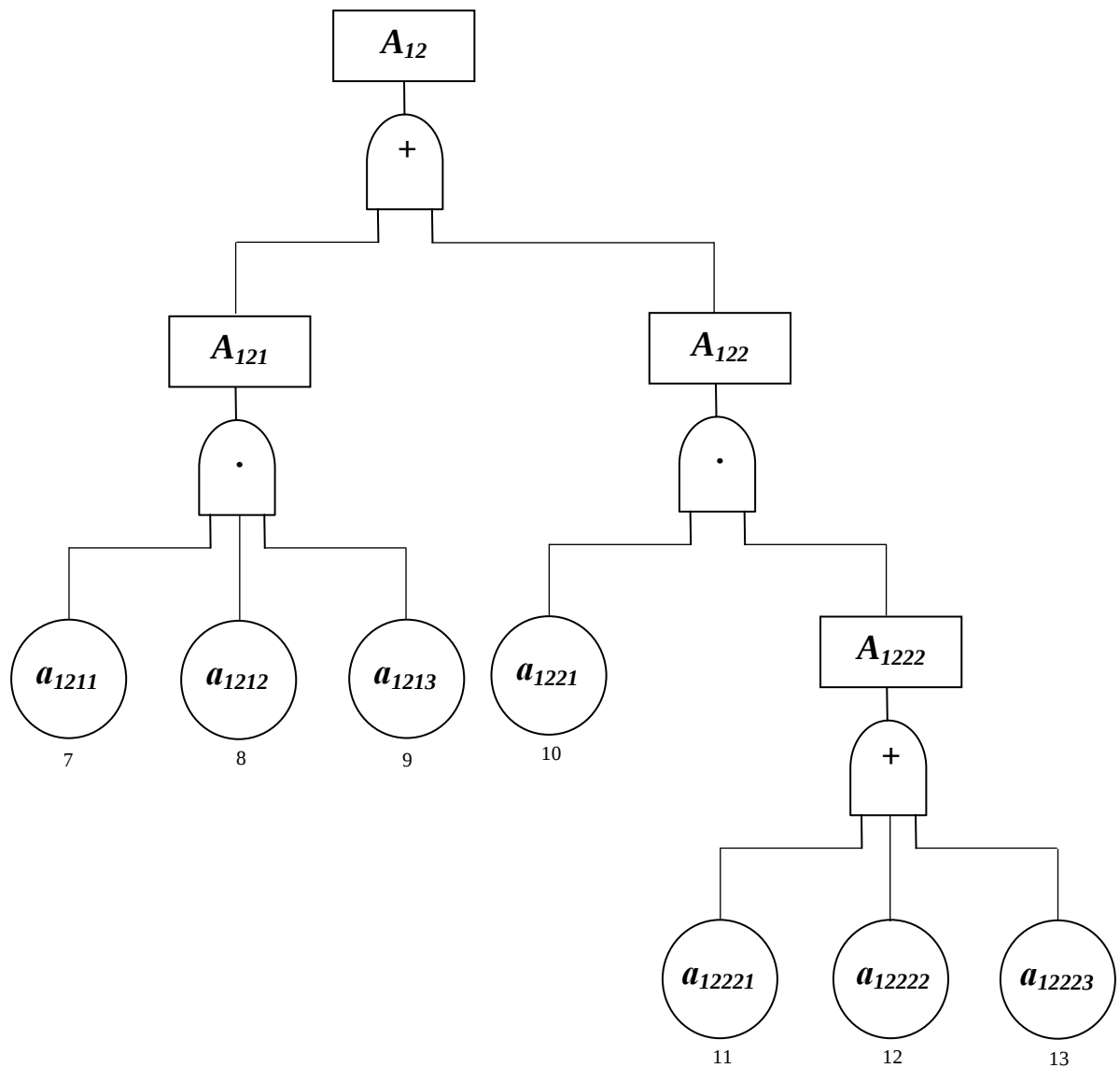


Рисунок 2.14 – Схема разложение события A_{12}

На рисунке 2.14 обозначены события: A_{121} – нет прохода воздуха до отправления; a_{1211} – пробка в магистрали; a_{1212} – машинист не проверил; a_{1213} – автоматчик не проверил тормоза (не продували и не опробовали); A_{122} – нет прохода после опробования; a_{1221} – низкая температура; A_{1222} – образование конденсата в магистрали; a_{12221} – грение компрессора; a_{12222} – неисправен осушитель; a_{12223} – переполнен отстойник.

Рассмотрим событие A_2 (рисунок 2.15).

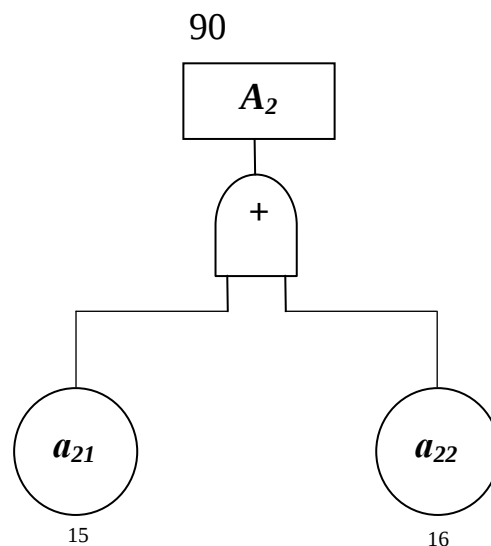


Рисунок 2.15 – Схема разложение события A_2

На рисунке 2.15 обозначены события: a_{21} – неработоспособное состояние крана машиниста; a_{22} – неработоспособное состояние компрессорного агрегата.

Рассмотрим событие A_3 (рисунок 2.16).

На рисунке 2.16 обозначены события: A_{31} – сужение проходного сечения магистрали; a_{32} – неработоспособное состояние кран машиниста; A_{311} – сужение сети магистрали после опробования; a_{3111} – сужение сети; a_{3112} – машинист не проверил при продутом состоянии; a_{3113} – автоматчик не проверил; A_{312} – сужение появилась во время движение; a_{3121} – низкая температура; A_{3122} – образование конденсата в магистрали; a_{31221} – грение компрессора; a_{31222} – неисправен осушитель; a_{31223} – переполнен отстойник.

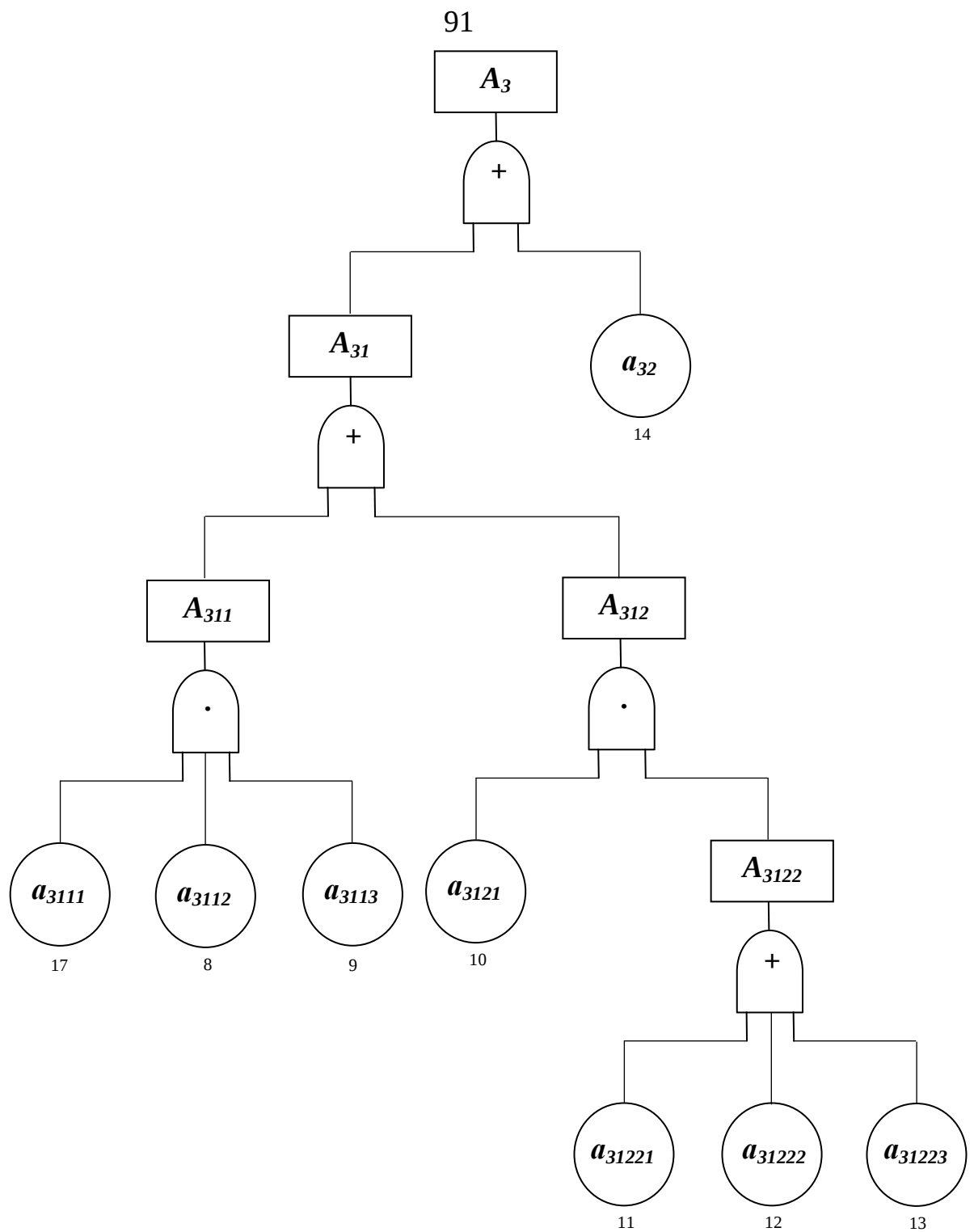


Рисунок 2.16 – Схема разложение события A_3

Рассмотрим событие B (рисунок 2.17). На рисунке 2.17 обозначены события: B_1 – низкое давление в магистрали; B_{11} – утечки в магистрали выше нормы; b_{12} – компрессор не может компенсировать утечки; b_2 – не работает

компрессор; B_3 – длительная стоянка в заторможенном состоянии; b_4 – ошибка машиниста в управлении тормозами.

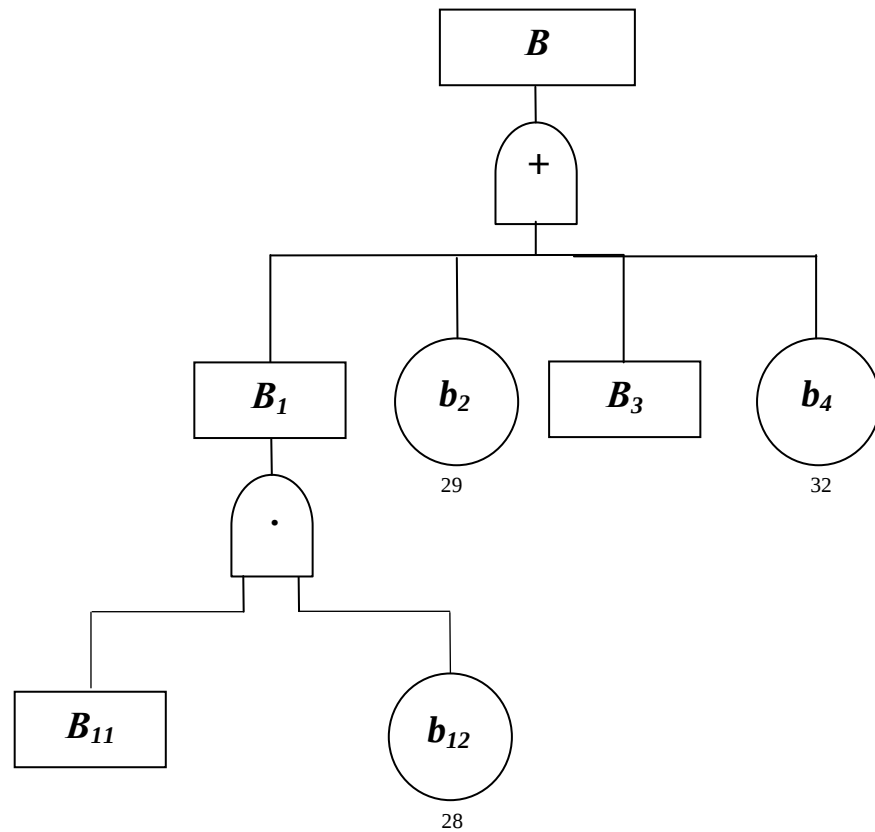
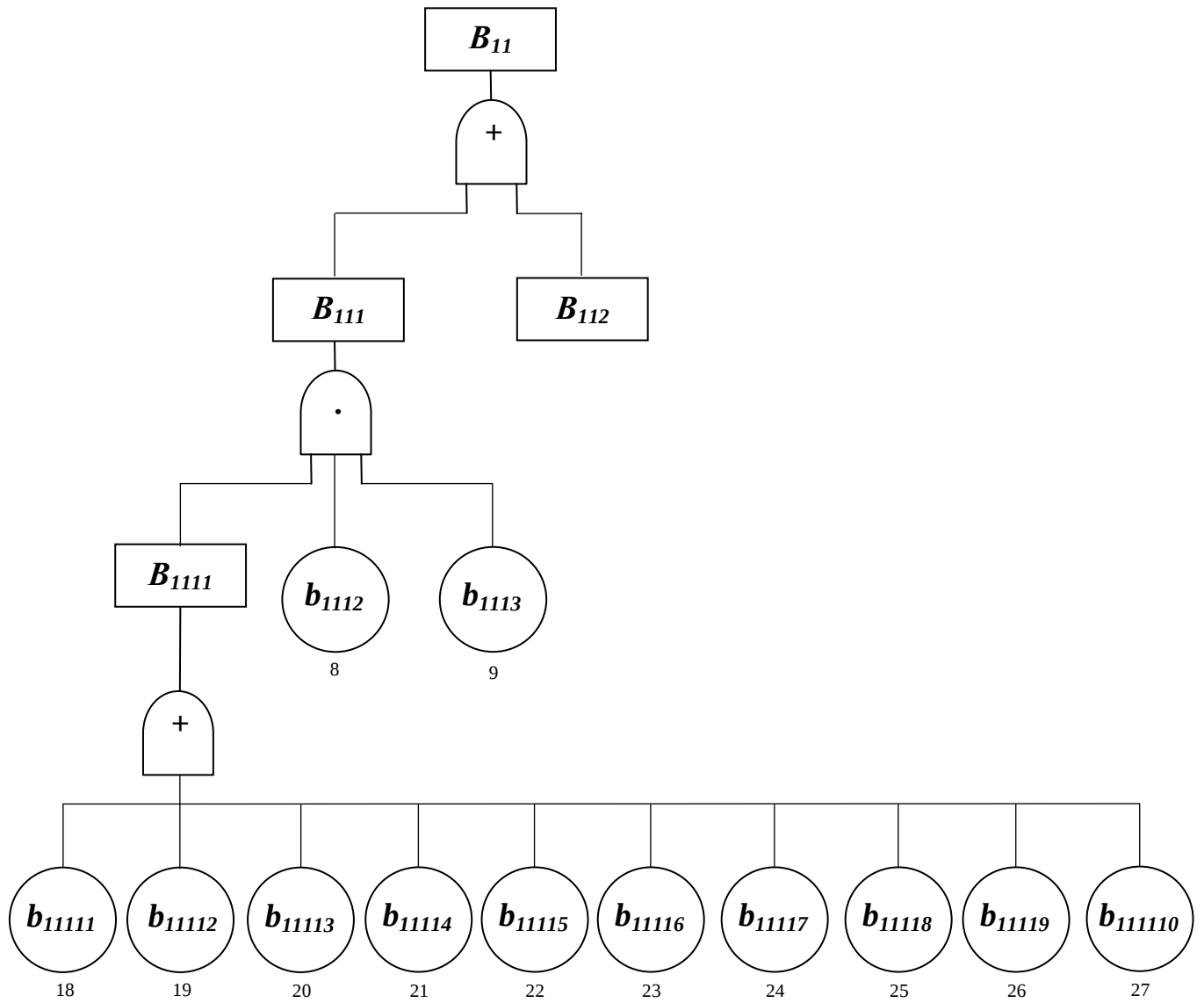
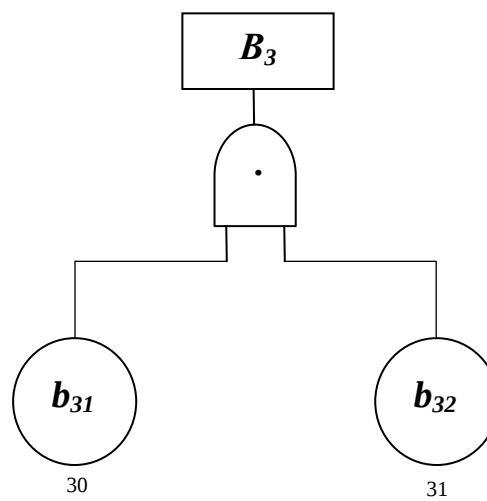


Рисунок 2.17 – Схема разложение события B

Рассмотрим событие B_1 (рисунок 2.18).

На рисунке 2.18 обозначены события: B_{111} – суммарные утечки выше нормы до отправления; B_{1111} – утечки выше нормы; b_{11111} – дутьё в головке рукавов; b_{11112} – дутьё в рукаве; b_{11113} – дутьё в концевом кране; b_{11114} – дутьё в магистрали; b_{11115} – дутьё по тройнику; b_{11116} – дутьё по разобшительному крану; b_{11117} – дутьё по подводящей трубке; b_{11118} – дутьё по ВР; b_{11119} – дутьё по ЗР; b_{111110} – дутьё по фильтру; b_{1112} – машинист не проверил; b_{1113} – автоматчик не проверил; B_{112} – суммарные утечки выше нормы в пути.

Рассмотрим событие B_3 (рисунок 2.19). На рисунке 2.19 обозначены: события b_{31} – долгая стоянка; b_{32} – не поставлен башмак.

Рисунок 2.18 – Схема разложение события B_{11} Рисунок 2.19 – Схема разложение события B_3

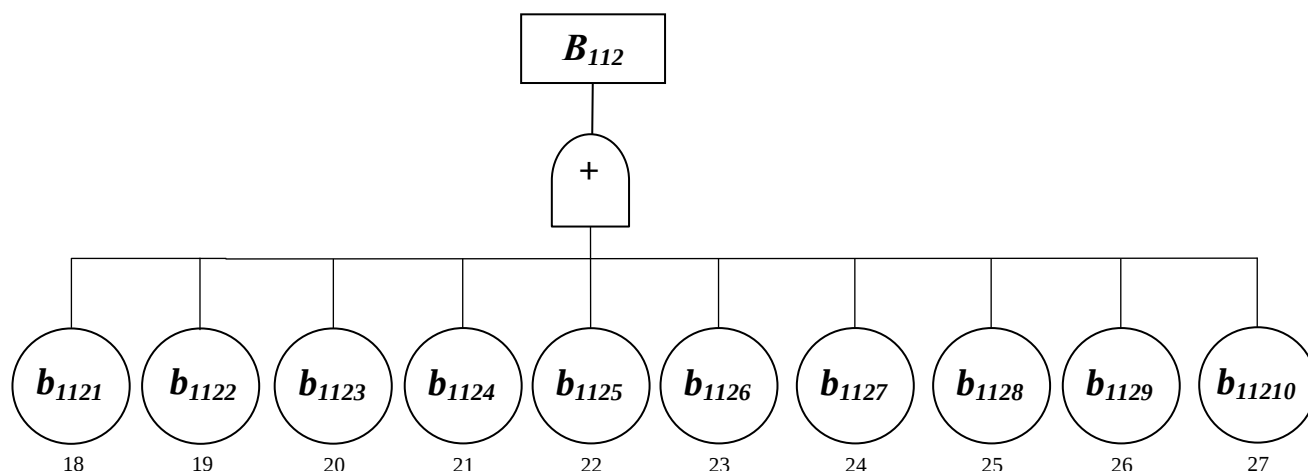


Рисунок 2.20 – Схема разложение события B_{112}

Рассмотрим B_{112} – суммарные утечки выше нормы в пути (рисунок 2.20). На рисунке 2.20 обозначены события: b_{1121} – дутьё в головке рукавов; b_{1122} – дутьё в рукаве; b_{1123} – дутьё в концевом кране; b_{1124} – дутьё в магистрали; b_{1125} – дутьё по тройнику; b_{1126} – дутьё по разобшительному крану; b_{1127} – дутьё по подводящей трубке; b_{1128} – дутьё по ВР; b_{1129} – дутьё по ЗР; b_{11210} – дутьё по фильтру.

Рассмотрим неработоспособное состояние тормозной системы, создающей тормозную силу:

$C = \{\text{тормозная сила (работа тормозной силы) меньше требуемой}\}.$

Возможны следующие нежелательные последствия, приводящие к проезду запрещающего сигнала или столкновению:

- 1) отсутствие тормозной силы (например, тормоз не сработал), и работа тормозной силы будет равна нулю;
- 2) запаздывание возникновения тормозной силы, и работа силы на участке будет меньше расчётной;
- 3) тормозная сила меньше расчётной, и работа будет меньше расчётной;
- 4) юз колесной пары, т.е. переход колесной пары в режим трения скольжения, что приведёт к уменьшению работы тормозной силы на участке;
- 5) самопроизвольный отпуск тормоза вагона, что приводит к снижению величины работы тормозной силы на участке.

Для каждого из них можно определить допустимое количество однотипных случаев, чтобы суммарная тормозная сила состава позволила рассеять энергию

поезда на участке блок поста. При этом имеется в виду движение поезда с максимальной скоростью.

Будем полагать, что четыре последних события имеют такие же последствия, что и первое. Это допущение пойдёт в запас безопасности, поскольку для любого из четырёх случаев работа тормозной силы будет больше нуля. Сделанное допущение позволит определить вероятность события C с помощью частной теоремы о повторении опытов.

Предположим, что вагоны в составе одинаковые (типу и по возрасту), тогда работу тормозной системы вагона можно рассматривать как отдельный опыт, а работу тормозной системы состава, как серию однотипных опытов. Состав может остановиться на требуемом участке, если из n тормозных систем вагонов в работоспособном состоянии будет не меньше m штук.

Обозначим:

$$P \left\{ \begin{array}{l} \text{в составе из } n \text{ тормозных систем вагонов} \\ \text{в работоспособном состоянии } m \text{ систем} \end{array} \right\} = P_n(m) \quad (2.6)$$

тогда, воспользовавшись частной теоремой о повторении опытов, имеем:

$$P_n(m) = C_n^m p^m (1-p)^{n-m}, \quad (2.7)$$

где p – вероятность безотказной работы тормозной системы вагона, а $(1-p)$ – вероятность отказа тормозной системы вагона, C_n^m – биномиальный коэффициент.

Тогда вероятность отказа системы, создающей тормозную силу, равна вероятности того, что число неработоспособных тормозных систем вагонов в поезде будет меньше $(n-m)$:

$$P_n \{ \xi \leq n-m \} = 1 - P_n \{ \xi > n-m \}, \quad (2.8)$$

$$P_n \{ \xi > n-m \} = 1 - \sum_{j=0}^{n-m} P_n(j), \quad (2.9)$$

где ξ – случайная величина, число отказавших тормозных систем вагонов в составе поезда из n вагонов. Величину можно m получить с помощью известных алгоритмов, она зависит от веса поезда, максимальной скорости на участке, уклона и др.

Таким образом, требуется получить выражение для определения вероятности того, что тормозная сила вагона (работа тормозной силы) меньше требуемой:

$$C = \left\{ \begin{array}{c} \text{тормозная сила} \\ \text{вагона меньше требуемой} \end{array} \right\}. \quad (2.10)$$

Воспользуемся дедуктивной логикой и построим дерево событий, приводящих к событию C (рисунок 2.21).

Как показано выше, к событию C может привести любое из пяти событий:

$D = \{\text{отсутствие тормозной силы вагона}\};$

$E = \{\text{задержка возникновения тормозной силы вагона}\};$

$F = \{\text{уменьшение тормозной силы вагона}\};$

$G = \{\text{юз колесной пары}\};$

$I = \{\text{самопроизвольный отпуск тормоза вагона}\}.$

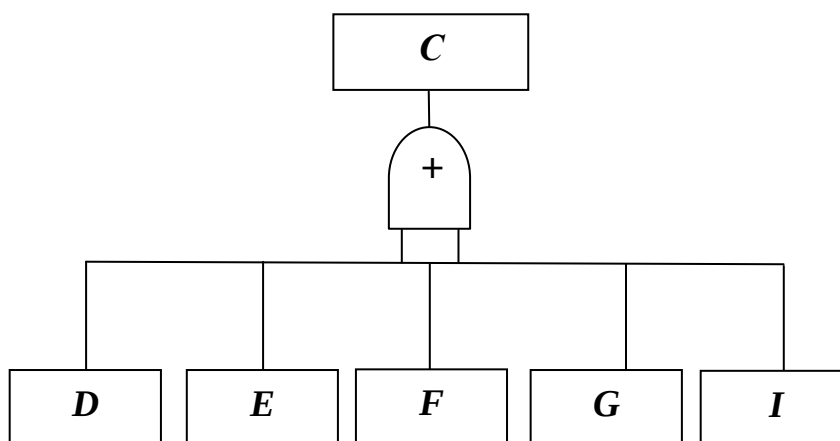


Рисунок 2.21 – Схема разложение события C

Рассмотрим событие D (рисунок 2.22). На рисунке 2.22 обозначены события: D_1 – не сработала пневматическая часть (давление в ТЦ равно нулю), D_2 – не сработала механическая часть.

Рассмотрим событие D_1 (рисунок 2.23). На рисунке 2.23 обозначены события: d_{11} – перекрыт разобщительный кран; D_{12} – забита сетка; D_{13} – ледяная пробка; D_{14} – утечка в ТЦ; d_{141} – дутьё по штоку; d_{142} – нет пробки ТЦ; d_{15} – обрыв подводящей трубки; d_{16} – обрыв ЗР или выпускного клапана; d_{17} – не сработал ВР.

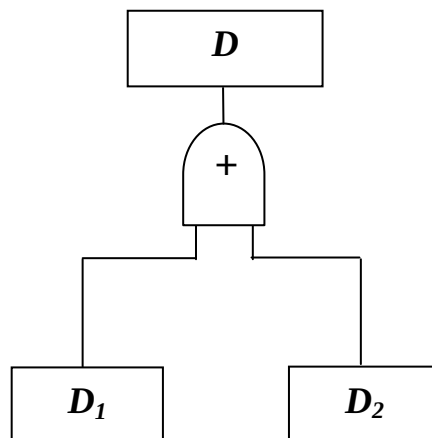


Рисунок 2.21 – Схема разложение события D

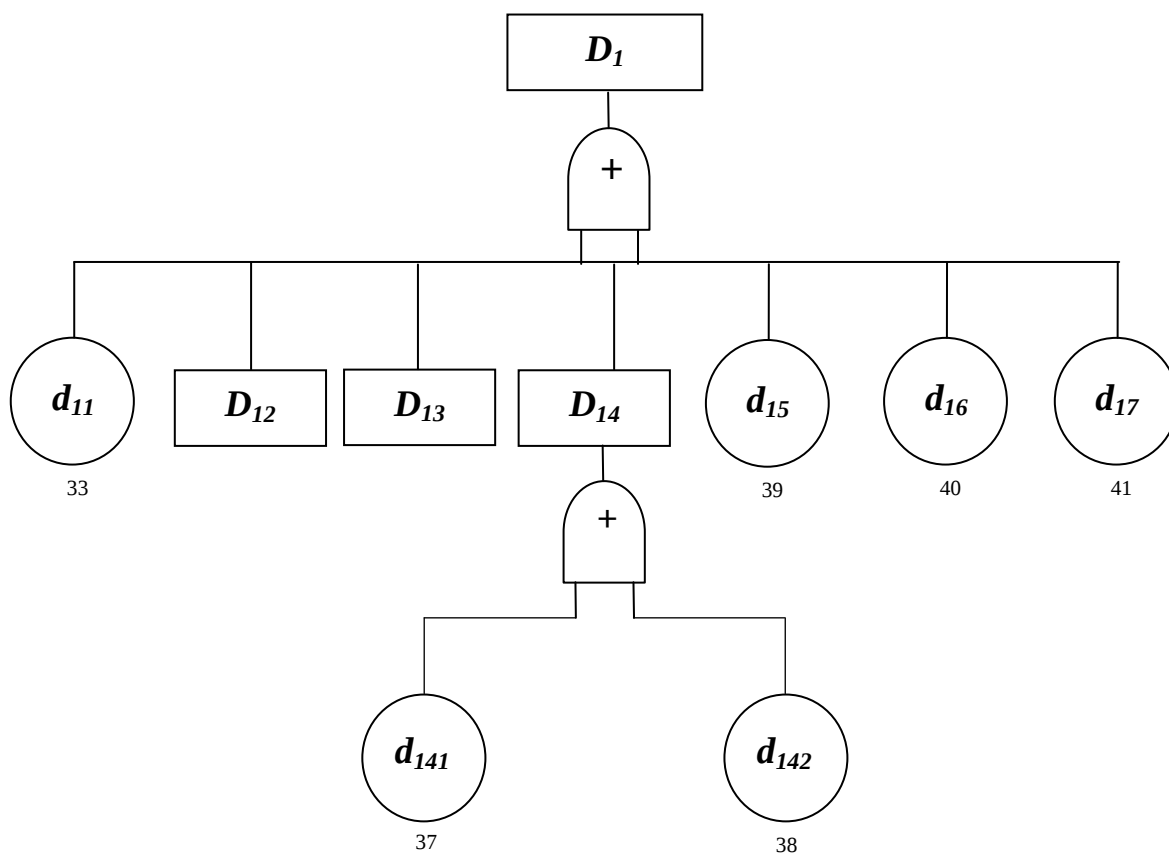


Рисунок 2.23 – Схема разложение события D_1

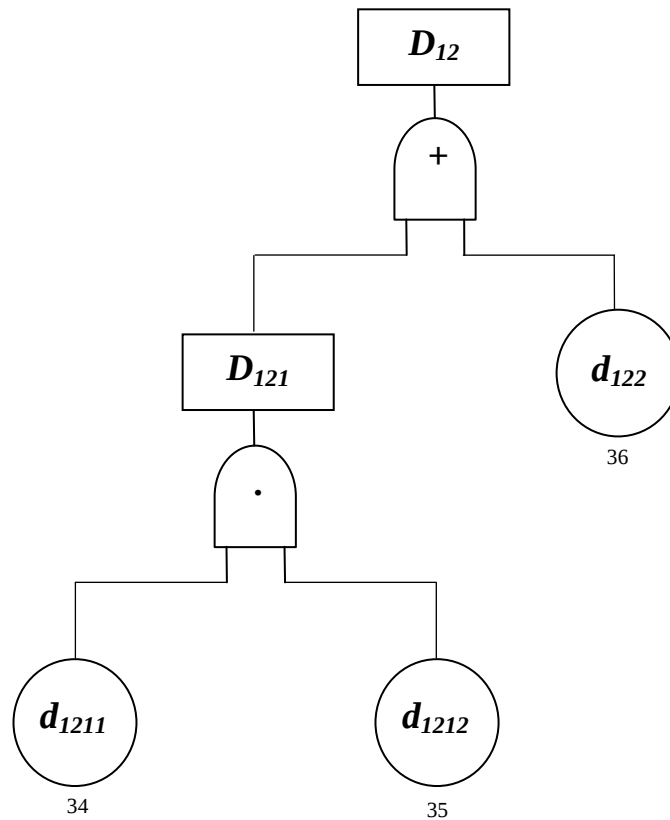


Рисунок 2.24 – Схема разложение события D_{12}

Рассмотрим событие D_{12} (рисунок 2.24). На рисунке 2.24 обозначены события: D_{121} – забита сетка до отправления; d_{1211} – воздух не проходит; d_{1212} – автоматчик не обнаружил; d_{122} – сетка забила в пути.

Рассмотрим событие D_{13} (рисунок 2.25). На рисунке 2.25 обозначены события: D_{131} – ледяная пробка образовалось до отправления; d_{1311} – машинист не проверил при продувке; D_{132} – ледяная пробка образовалось в пути; d_{1312} – автоматчик не проверил; d_{1321} – низкая температура; d_{13221} – грение компрессора; d_{13222} – неисправен осушитель; d_{13223} – переполнен отстойник.

Рассмотрим событие D_2 (рисунок 2.26). На рисунке 2.26 обозначены события: d_{21} – выпадение валика; d_{22} – обрыв тяги; d_{23} – обрыв авторегулятора; d_{24} – излом рычагов; d_{25} – завал рычагов; d_{26} – излом триангеля; d_{27} – обрыв кронштейна мёртвой точки.

Рассмотрим событие E (рисунок 2.27). На рисунке 2.27 обозначены события: e_1 – разобшительный кран не полностью открыт; e_2 – загрязнение сетчатого фильтра; e_3 – задержка в работе ВР.

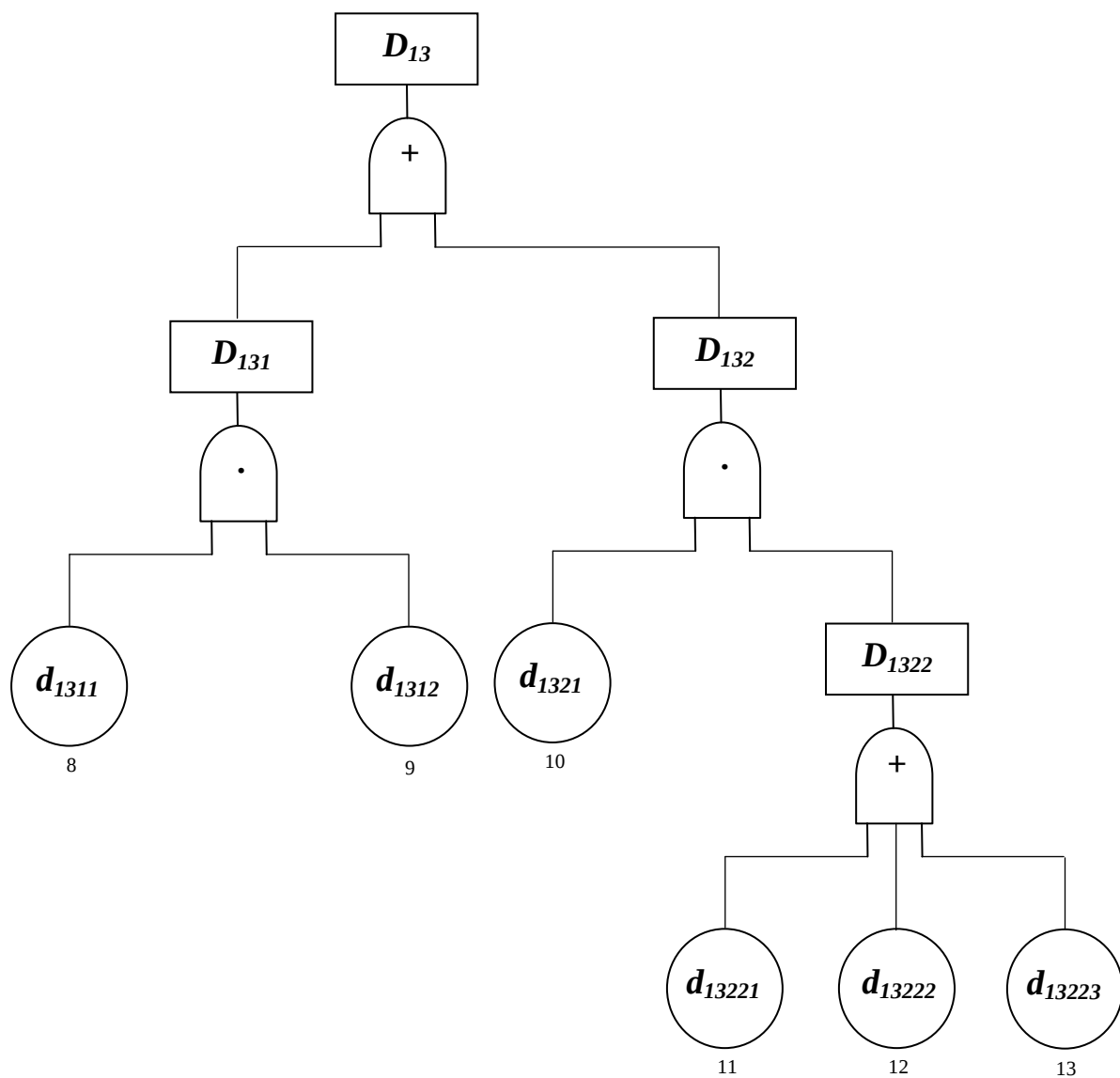


Рисунок 2.25 – Схема разложение события D_{13}

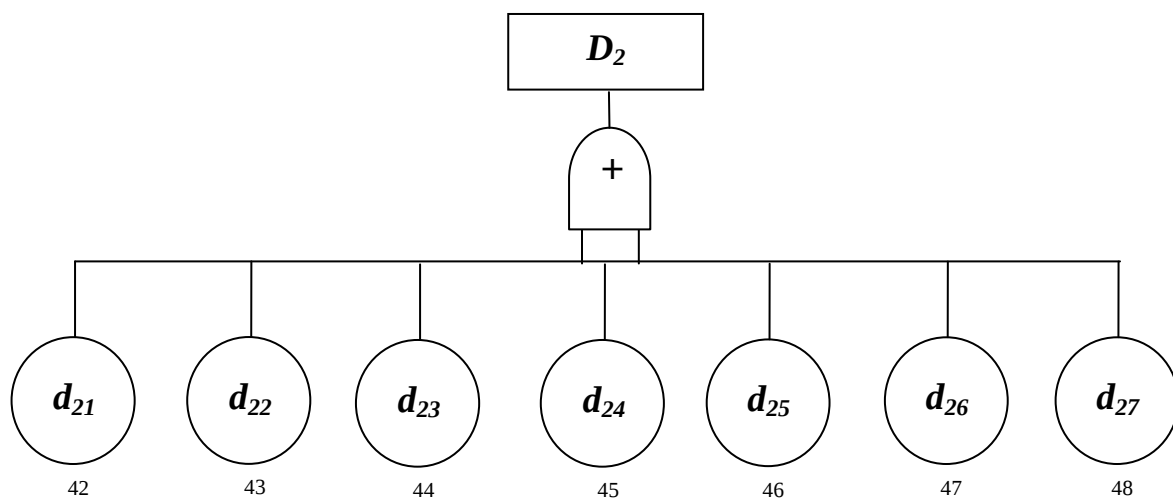


Рисунок 2.26 – Схема разложение события D_2

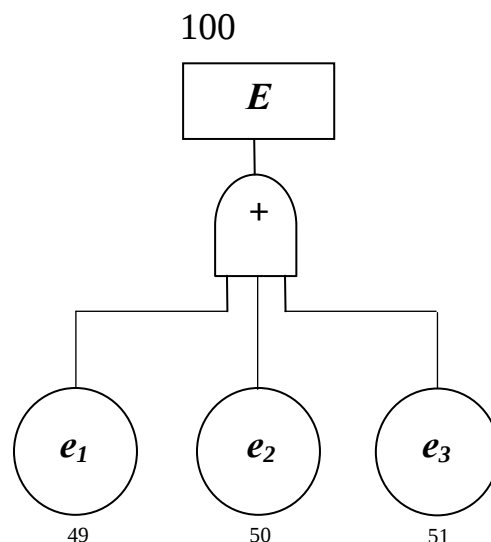


Рисунок 2.27 – Схема разложение события E

Тормозная рычажная передача – жёсткая система, инерционность которой зависит от зазоров между колодкой и колесом, износов в шарнирах и свойств пневмоцилиндра. Пневматическая часть тормоза – это единственный возможный источник задержки в срабатывании тормоза.

Рассмотрим событие F (рисунок 2.28).

На рисунке 2.28 обозначены события: F_1 – давление в ТЦ меньше нормы; f_{11} – неисправен ВР; f_{12} – утечки в ЗР; f_{13} – утечки в ТЦ; f_{14} – утечки трубок; f_{15} – неисправен авторежим; F_{16} – неисправен включение режимов; f_{161} – неисправен установленный режим ВР; f_{162} – автоматчик не обнаружил; F_2 – увеличение выхода штока в ТЦ; F_{21} – большой выход штока; F_{211} – увеличение зазора колодка-колесо; f_{2111} – излом или износ колодок; f_{2112} – неисправен авторегулятор; f_{212} – неправильное соединение тяг (постановка валиков); f_{213} – неправильное установка затяжки горизонтальных рычагов; f_{22} – автоматчики не обнаружили при опробовании.

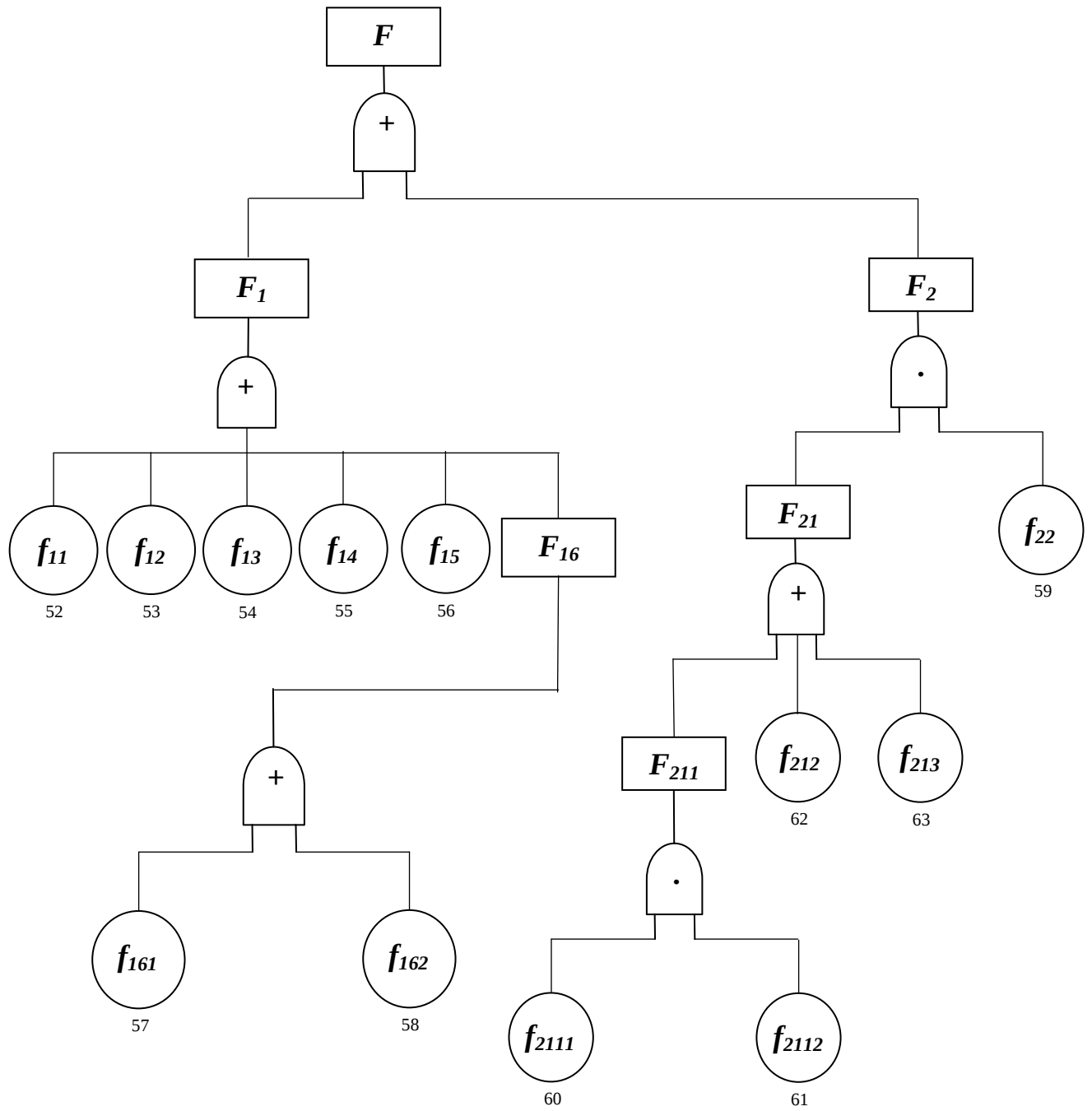
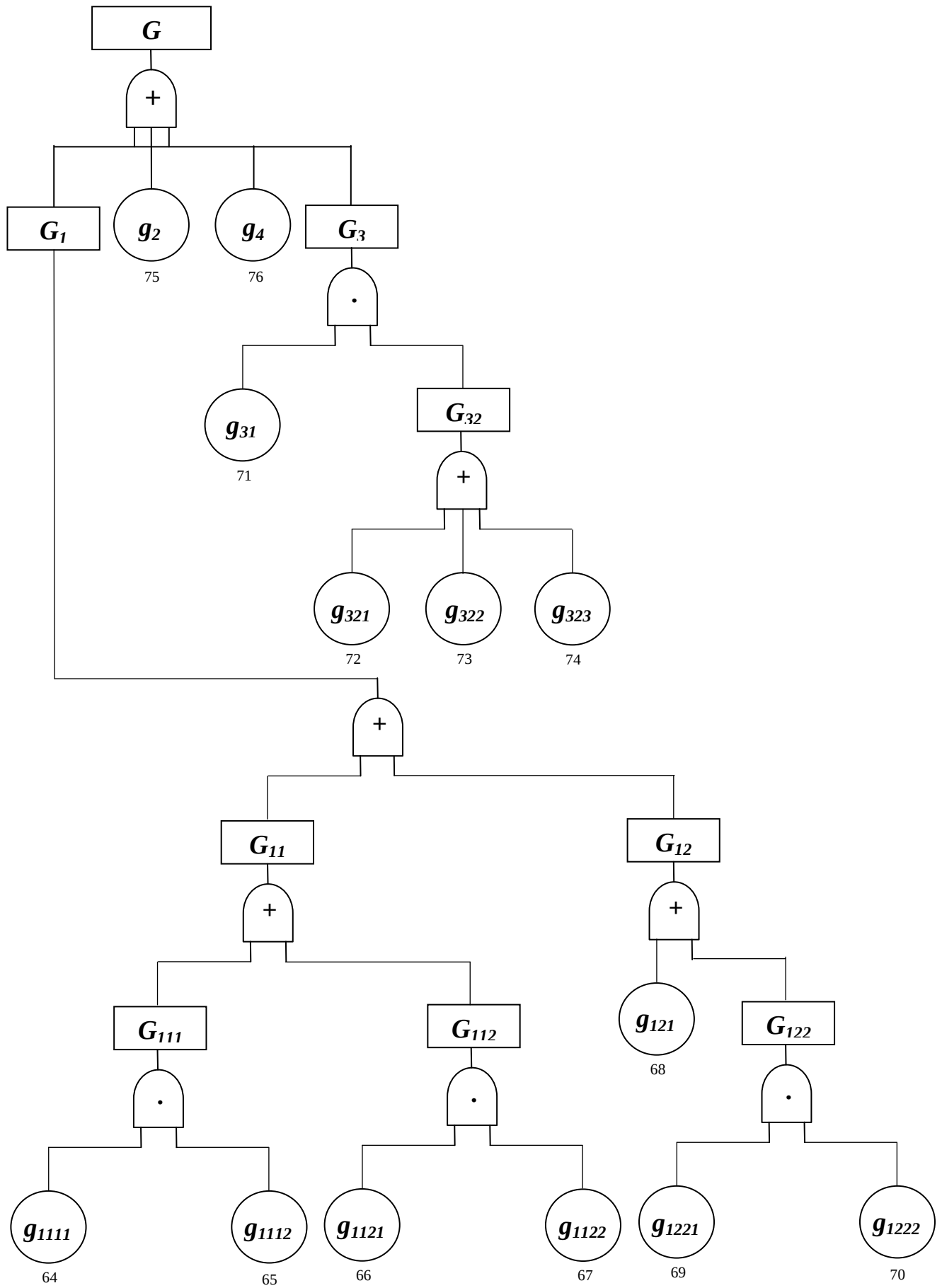


Рисунок 2.28 – Схема разложение события F

Рассмотрим событие G (рисунок 2.29).

Рисунок 2.29 – Схема разложение события G

На рисунке 2.29 обозначены события: G_1 – завышение давление в ТЦ; G_{11} – перезарядка ЗР; G_{111} – перезарядка ЗР при отправлении; g_{1111} – неисправен регулятор давления; g_{1112} – нарушение правил проверки тормозов; G_{112} – перезарядка ЗР в пути; g_{1121} – повышение давления; g_{1122} – ошибка машиниста; g_{121} – неисправен ВР; G_{122} – неправильный режим ВР; g_{1221} – неправильно установили режим; g_{1222} – автоматчик не проверил; g_2 – сила сцепление колеса с рельсом меньше требуемой; g_4 – затянут стояночный тормоз; G_3 – затянута тормозная рычажная передача; g_{31} – автоматчик не обнаружил; G_{32} – неправильная регулировка тормозной рычажной передачи; g_{321} – затянут авторегулятор; g_{322} – неправильная установка валиков тяг; g_{323} – неправильная установка затяжки горизонтальных рычагов.

Рассмотрим событие I (рисунок 2.30).

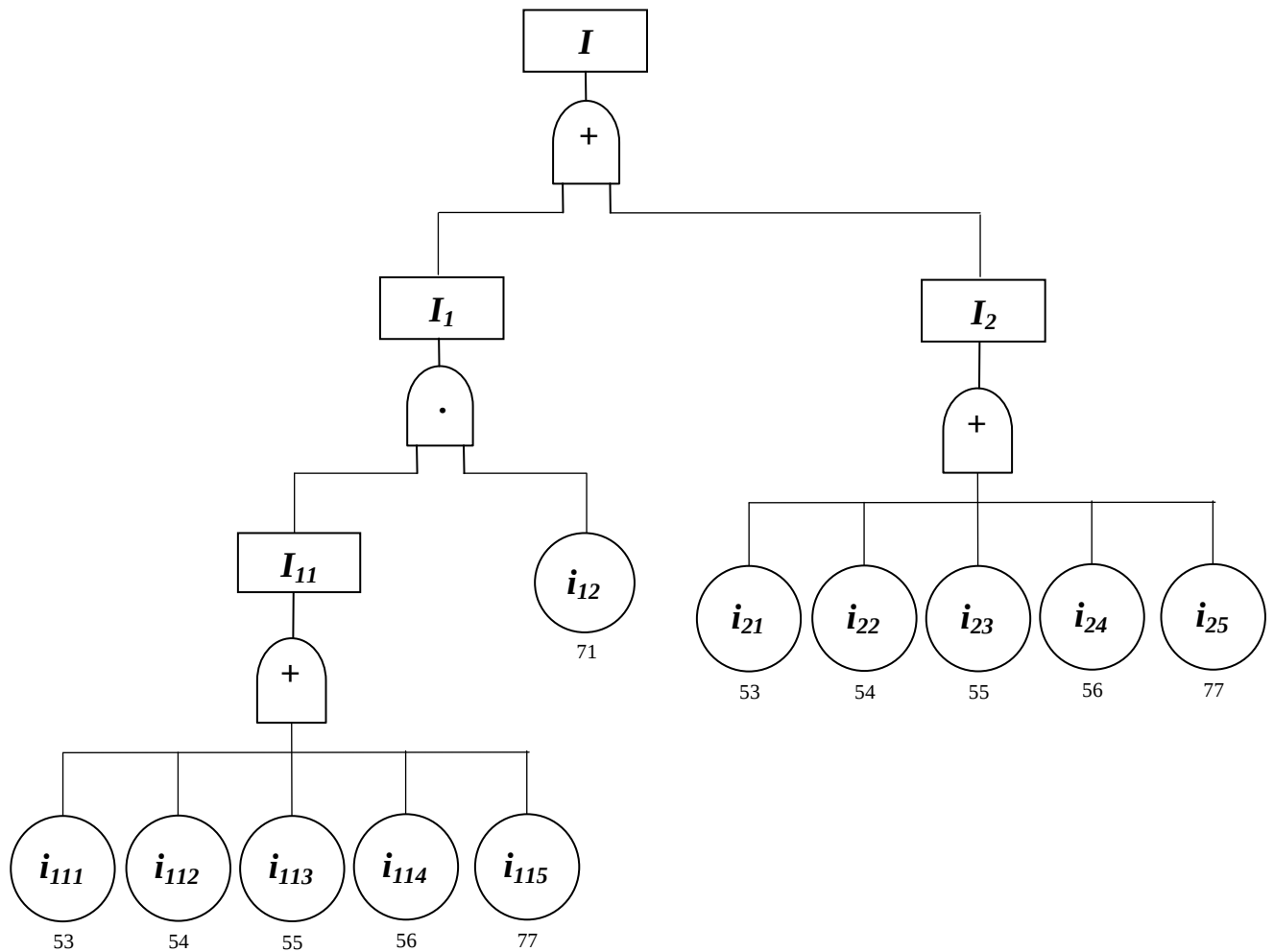


Рисунок 2.30 – Схема разложение события I

На рисунке 2.30 обозначены события: I_1 – самопроизвольный отпуск вагона при отправлении; I_{11} – тормоз не держит; i_{111} – утечки в ЗР или выпускном клапане; i_{112} – утечки в ТЦ; i_{113} – утечки в подводящих трубах; i_{114} – утечки в авторежиме; i_{115} – неисправен ВР; I_2 – в пути тормоз не держит; i_{21} – утечки в ЗР или выпускном клапане; i_{22} – утечки в ТЦ; i_{23} – утечки в подводящих трубах; i_{24} – утечки в авторежиме; i_{25} – неисправен ВР.

2.6 Двухполюсная модель столкновения

Получим выражение вероятности события S с помощью метода минимальных сечений и перейдём от древовидного представления к двухполюсному. Воспользуемся следующей процедурой: если вершинным событием управляет оператор «ИЛИ», заменим его входящими в виде столбца. Событием D управляет оператор «ИЛИ», заменим его входящими в виде столбца. Событием D_1 управляет оператор «ИЛИ», поэтому заменим его входящими событиями в виде столбца. Заменяем D_{12} , которым управляет оператор «ИЛИ». Событием D_{121} управляет оператор «И», заменяем его входящими в виде строки. Событием D_{13} управляет оператор «ИЛИ», заменим его на входящие D_{131} и D_{132} в виде строки. Заменим событие D_{131} входящими событиями с номерами 7 и 8 в виде строки, поскольку им управляет оператор «И». Заменим событие D_{132} на входящие в виде строки. Заменим событие D_{14} на входящие в виде строки. Заменяем событие D_2 входящими в виде столбца. Заменим событие E входящими в виде столбца. Заменим событие F на входящие в виде столбца. Заменим F_1 входящими событиями в виде столбца, поскольку им управляет оператор «ИЛИ». Заменим событие F_{16} входящими в виде строки. Заменяем событие F_2 входящими в виде строки. Событие F_{21} заменяем входящими в виде столбца. Заменяем событие F_{211} входящими в виде строки.

$$\begin{aligned}
\{C\} &= \{D \quad E \quad F \quad G \quad I\}^T = \\
&= \{D_1 \quad D_2 \quad E \quad F \quad G \quad I\}^T = \\
&= \{29 \quad D_{12} \quad D_{13} \quad D_{14} \quad 39 \quad 40 \quad 41 \quad E \quad F \quad G \quad I\}^T = \\
&= \{33 \quad D_{121} \quad 36 \quad D_{13} \quad D_{14} \quad 39 \quad 40 \quad 41 \quad D_2 \quad E \quad F \quad G \quad I\}^T = \\
&= \left\{ \begin{array}{cccccccccccc} 33 & 34 & 36 & D_{13} & D_{14} & 39 & 40 & 41 & D_2 & E & F & G & I \\ & 35 & & & & & & & & & & & \end{array} \right\}^T = \\
&= \left\{ \begin{array}{cccccccccccc} 33 & 34 & 36 & D_{131} & D_{132} & D_{14} & 39 & 40 & 41 & D_2 & E & F & G & I \\ & 35 & & & & & & & & & & & \end{array} \right\}^T = \\
&= \left\{ \begin{array}{cccccccccccc} 33 & 34 & 36 & 8 & D_{132} & D_{14} & 39 & 40 & 41 & D_2 & E & F & G & I \\ & 35 & & 9 & & & & & & & & & \end{array} \right\}^T = \\
&= \left\{ \begin{array}{cccccccccccc} 33 & 34 & 36 & 8 & 10 & 39 & 40 & 41 & D_{14} & 39 & 40 & 41 & D_2 & E & F & G & I \\ & 35 & & 9 & 11 & & & & & & & & & & & \\ & & & & 12 & & & & & & & & & & & \\ & & & & 13 & & & & & & & & & & & \end{array} \right\}^T = \\
&= \left\{ \begin{array}{cccccccccccc} 33 & 34 & 36 & 8 & 10 & 39 & 40 & 41 & 37 & 38 & D_2 & E & F & G & I \\ & 35 & & 9 & 11 & & & & & & & & & & \\ & & & & 12 & & & & & & & & & & \\ & & & & 13 & & & & & & & & & & \end{array} \right\}^T = \\
&= \left\{ \begin{array}{cccccccccccc} 33 & 34 & 36 & 8 & 10 & 37 & \dots & 41 & 42 & 43 & 44 & 45 & 46 & 47 & 48 & E & F & G & I \\ & 35 & & 9 & 11 & & & & & & & & & & & & & \\ & & & & 12 & & & & & & & & & & & & \\ & & & & 13 & & & & & & & & & & & & \end{array} \right\}^T = \\
&= \left\{ \begin{array}{cccccccccccc} 33 & 34 & 36 & 8 & 10 & 37 & \dots & 48 & 49 & 50 & 51 & F & G & I \\ & 35 & & 9 & 11 & & & & & & & & & \\ & & & & 12 & & & & & & & & & \\ & & & & 13 & & & & & & & & & \end{array} \right\}^T =
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left\{ \begin{array}{cccccccccccccc} 33 & 34 & 36 & 8 & 10 & 37 & \dots & 51 & F_1 & F_2 & G & I \end{array} \right\}^T = \\
&= \left\{ \begin{array}{cccccccccccccc} 33 & 34 & 36 & 8 & 10 & 37 & \dots & 51 & 52 & 53 & 54 & 55 & 56 & F_{16} & F_2 & G & I \end{array} \right\}^T = \\
&= \left\{ \begin{array}{cccccccccccccc} 33 & 34 & 36 & 8 & 10 & 37 & \dots & 56 & 57 & F_2 & G & I \end{array} \right\}^T = \\
&= \left\{ \begin{array}{cccccccccccccc} 33 & 34 & 36 & 8 & 10 & 37 & \dots & 56 & 57 & F_{21} & G & I \end{array} \right\}^T = \\
&= \left\{ \begin{array}{cccccccccccccc} 33 & 34 & 36 & 8 & 10 & 37 & \dots & 56 & 57 & F_{211} & 62 & 63 & G & I \end{array} \right\}^T = \\
&= \left\{ \begin{array}{cccccccccccccc} 33 & 34 & 36 & 8 & 10 & 37 & \dots & 56 & 57 & 59 & 59 & 59 & G & I \end{array} \right\}^T =
\end{aligned}$$

Рассмотрим событие G отдельно. Им управляет оператор «ИЛИ», заменим его на входящие G_1, G_2, G_3 , и G_4 , в виде столбца. Заменим событие G_1 входящими в виде столбца, а событие G_3 , заменим входящими в виде строки. Заменим G_{11} на входящие в виде столбца, G_{12} , - на события в виде столбца. Заменяем G_{111} входящими в виде строки, и G_{112} и G_{122} также заменим входящими в виде строки. Заменяем G_{32} , входящими событиями в виде столбца. Рассмотрим ветку I для

события C . Событием I управляет оператор «ИЛИ», поэтому заменяем его на входящие в виде столбца. Заменяем событие I_1 входящими в виде строки. Заменяем событие I_{11} входящими в виде строки. Заменяем событие I_2 входящими в виде столбца.

$$\begin{aligned}
 \{G\} &= \{G_1 \quad 75 \quad G_3 \quad 76\}^T = \\
 &= \left\{ \begin{array}{cccccc} G_{11} & G_{12} & 75 & 71 & 76 \\ & & & G_{32} & \end{array} \right\}^T = \\
 &= \left\{ \begin{array}{cccccc} G_{111} & G_{112} & G_{122} & 68 & 75 & 71 & 76 \\ & & & & & G_{32} & \end{array} \right\}^T = \\
 &= \left\{ \begin{array}{cccccc} 64 & 66 & 68 & 69 & 75 & 71 & 76 \\ 65 & 67 & & 70 & & G_{32} & \end{array} \right\}^T = \\
 &= \left\{ \begin{array}{cccccc} 64 & 66 & 68 & 69 & 75 & 71 & 71 & 71 & 76 \\ 65 & 67 & & 70 & & 72 & 73 & 74 & \end{array} \right\}^T = \\
 \{I\} &= \{I_1 \quad I_2\}^T = \\
 &= \left\{ \begin{array}{cc} I_{11} & I_2 \\ 71 & \end{array} \right\}^T = \\
 &= \left\{ \begin{array}{cccccc} 53 & 54 & 55 & 56 & 77 & I_2 \\ 71 & 71 & 71 & 71 & 71 & \end{array} \right\}^T = \\
 &= \left\{ \begin{array}{cccccc} 53 & 54 & 55 & 56 & 77 & 53 & 54 & 55 & 56 & 77 \\ 71 & 71 & 71 & 71 & 71 & & & & & \end{array} \right\}^T =
 \end{aligned}$$

Таким образом, получим следующее представление события $\{C\}$,

$$\{C\} = \left\{ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc} 33 & 34 & 36 & 8 & 10 & 37 & \dots & 56 & 57 & 59 & 59 & 59 & 64 & 66 & 68 & 69 & 75 & 71 & 71 & 71 & 76 & 53 & 54 & 55 & 56 & 77 & 53 & 54 & 55 & 56 & 77 \\ & 35 & & 9 & 11 & & & & 58 & 60 & 62 & 63 & 65 & 67 & & 70 & & 72 & 73 & 74 & & 71 & 71 & 71 & 71 & 71 & & & & & \\ & & & & 12 & & & & 61 & \\ & & & & 13 & \end{array} \right\}^T =$$

Каждая строка матрицы – минимальное сечение. Тогда логическую схему для события $\{C\}$ можно представить в виде двухполюсной (рисунок 2.31).

Из рисунка 2.31 видно, что в системе, создающей тормозную силу вагона, существуют:

- отказы, контроль которых возможен на ПТО автоматчиками при опробовании тормозов поезда;

- отказы, возникающие в пути следования, которые сразу приводят к событию С. К ним относятся:

- засорение сетки (36);
- дутьё по штоку (37);
- отсутствует пробка тормозного цилиндра (38);
- обрыв подводящей трубки (39);
- обрыв запасного резервуара или клапана (40);
- неисправность воздухораспределителя (41);
- выпадение валика (42);
- обрыв тяги (43);
- обрыв авторегулятора (44);
- излом рычагов (45);
- завал рычагов (46);
- излом триангеля (47);
- обрыв кронштейна мёртвой точки (48);
- загрязнение сетки (50);
- утечки в запасном резервуаре или клапане (53);
- утечки в тормозном цилиндре (54);
- утечки в подводящих трубках (55);
- утечки в авторежиме (56).

В составе поезда тормозные системы вагонов работают параллельно, что снижает вероятность отказа тормозов поезда, проезд запрещающего сигнала и столкновения.

Так, например, для системы с двумя исправными элементами из трёх, представленной на рисунке (рисунок 2.32). Её логическая схема по методу минимальных сечений приведена на рисунке (рисунок 2.33).

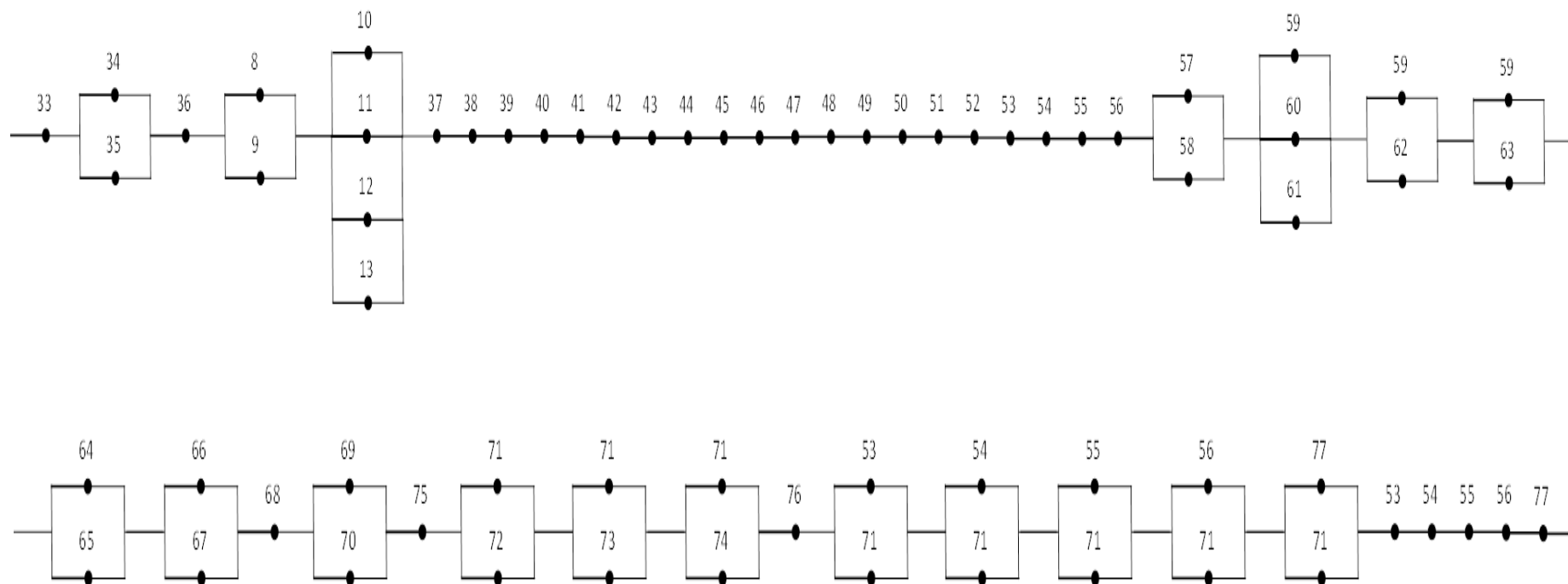


Рисунок 2.31 – Схема двухполюсной модели представления события C

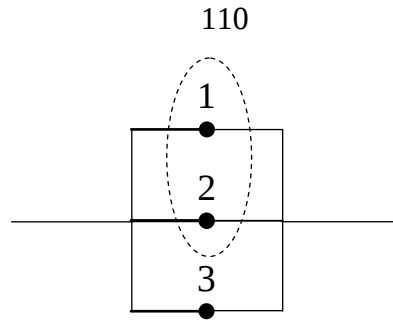


Рисунок 2.32 – Структурная схема системы с двумя исправными из трёх

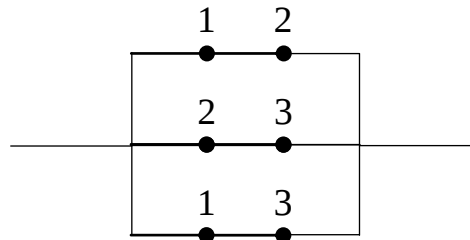


Рисунок 2.33 – Двухполюсное представление структуры с двумя исправными из трёх

Здесь $\text{---}\bullet\text{---}$ обозначено неработоспособное состояние i -го элемента.

Вероятность безотказной работы такой системы $P_3(2)$ будет:

$$P_3(2) = (1 - (1 - P_1)(1 - P_2)) \cdot (1 - (1 - P_2)(1 - P_3)) \cdot (1 - (1 - P_1)(1 - P_3)), \quad (2.11)$$

где P_i – вероятность безотказной работы i -го элемента $i = \overline{1,3}$.

Если все элементы одинаковые, т.е. $P_1 = P_2 = P_3 = P$, то можно записать:

$$P_3(2) = (1 - (1 - P)^2)^3. \quad (2.12)$$

По аналогии, если рассматривать тормозную систему поезда, то под элементом можно понимать тормозную систему вагона, а под $P_i = 1 - P(C)$, где C – отказ тормозной системы вагона за время t . Так, например, если вероятность безотказной работы тормозной системы вагона $P(C) = 0,95$, то вероятность отказа системы с двумя исправными из трёх будет:

$$P_3(2) = (1 - (1 - 0,95)^2)^3 = 0,95^3 + 3 \cdot 0,95^2(1 - 0,95) = 0,993. \quad (2.13)$$

С учётом приведённого выше примера для систем с резервированием, получим двухполюсную модель аварийности вагона для вершинного события – столкновения поезда за время t . Для этого воспользуемся методом сечений.

Воспользуемся регулярной процедурой, описанной выше.

Вершинным событием S управляет оператор «ИЛИ», поэтому заменим его на входящие в виде столбца:

$$[S] = \begin{vmatrix} A \\ B \\ C \end{vmatrix}.$$

Рассмотрим отдельно составляющие. Событием A управляет оператор «ИЛИ», поэтому заменяем его входящими событиями в виде столбца. Событием A_1 управляет оператор «ИЛИ», поэтому заменяем его на входящие A_{11} , A_{12} и 13 в виде столбца. Заменим A_{11} на входящие элементы в виде столбца. Заменим A_{111} на входящие элементы в виде строки, аналогично для события A_{112} . Событием A_{1122} управляет оператор «И», поэтому заменяем его на входящие элементы в виде столбца. Заменим A_{12} на входящие в виде столбца. Заменим A_{121} на входящие событиями в виде строки, A_{122} – заменяем входящими элементами в виде строки. Заменим A_{1222} входящими событиями в форме столбца. Событием A_2 управляет оператор «ИЛИ», поэтому заменим его на входящие элементы в виде столбца. Событием A_3 управляет оператор «ИЛИ», поэтому заменим его на входящие элементы в виде столбца. Заменим A_{31} на входящие элементы в виде столбца. Заменим A_{311} входящими элементами в виде строки, а A_{312} – входящими элементами в виде строки. Заменив A_{3122} на входящие события в виде строки.

$$\begin{aligned} [A] &= \begin{vmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & 13 & A_2 & A_3 \end{vmatrix}^T = \\ &= \begin{vmatrix} A_{111} & A_{112} & A_{12} & 13 & A_2 & A_3 \end{vmatrix}^T = \\ &= \begin{vmatrix} 1 & 3 & A_{12} & 13 & A_2 & A_3 \\ 2 & A_{1122} & & & & \end{vmatrix}^T = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \begin{vmatrix} 1 & 3 & 3 & 3 & A_{12} & 13 & A_2 & A_3 \\ 2 & 4 & 5 & 6 & & & & \end{vmatrix}^T = \\
&= \begin{vmatrix} 1 & 3 & 3 & 3 & A_{121} & A_{122} & 13 & A_2 & A_3 \\ 2 & 4 & 5 & 6 & & & & & \end{vmatrix}^T = \\
&= \begin{vmatrix} 1 & 3 & 3 & 3 & 8 & 10 & 14 & A_2 & A_3 \\ 2 & 4 & 5 & 6 & 9 & A_{1222} & & & \\ & & & & 7 & & & & \end{vmatrix}^T = \\
&= \begin{vmatrix} 1 & 3 & 3 & 3 & 8 & 10 & 10 & 10 & 14 & A_2 & A_3 \\ 2 & 4 & 5 & 6 & 9 & 11 & 12 & 13 & & & \\ & & & & 7 & & & & & & \end{vmatrix}^T = \\
&= \begin{vmatrix} 1 & 3 & 3 & 3 & 8 & 10 & 10 & 10 & 14 & 15 & 16 & A_3 \\ 2 & 4 & 5 & 6 & 9 & 11 & 12 & 13 & & & & \\ & & & & 7 & & & & & & & \end{vmatrix}^T = \\
&= \begin{vmatrix} 1 & 3 & 3 & 3 & 8 & 10 & 10 & 10 & 14 & 15 & 16 & A_{31} & 14 \\ 2 & 4 & 5 & 6 & 9 & 11 & 12 & 13 & & & & & \\ & & & & 7 & & & & & & & & \end{vmatrix}^T = \\
&= \begin{vmatrix} 1 & 3 & 3 & 3 & 8 & 10 & 10 & 10 & 14 & 15 & 16 & A_{311} & A_{312} & 14 \\ 2 & 4 & 5 & 6 & 9 & 11 & 12 & 13 & & & & & & \\ & & & & 7 & & & & & & & & & \end{vmatrix}^T = \\
&= \begin{vmatrix} 1 & 3 & 3 & 3 & 8 & 10 & 10 & 10 & 14 & 15 & 16 & 8 & 10 & 14 \\ 2 & 4 & 5 & 6 & 9 & 11 & 12 & 13 & & & & 9 & A_{3122} & \\ & & & & 7 & & & & & & 17 & & & \end{vmatrix}^T = \\
&= \begin{vmatrix} 1 & 3 & 3 & 3 & 8 & 10 & 10 & 10 & 14 & 15 & 16 & 8 & 10 & 10 & 10 & 14 \\ 2 & 4 & 5 & 6 & 9 & 11 & 12 & 13 & & & & 9 & 11 & 12 & 13 & \\ & & & & 7 & & & & & & 17 & & & & \end{vmatrix}^T.
\end{aligned}$$

Аналогично получим множество минимальных сечений для события B .

Заменяем его входящими событиями в виде столбца. Заменяем B_1 входящими

событиями в виде строки. Заменив B_{11} на входящие элементы в виде столбца. Заменим B_{111} на входящие элементы в виде строки. Заменим B_{1111} и B_{112} на входящие элементы в виде строки. Заменим B_3 входящими событиями в виде строки.

$$\begin{aligned}
 [B] &= \begin{vmatrix} B_1 & 29 & B_3 & 32 \end{vmatrix}^T = \\
 &= \begin{vmatrix} B_{11} & 29 & B_3 & 32 \\ 28 & & & \end{vmatrix}^T = \\
 &= \begin{vmatrix} B_{111} & B_{112} & 29 & B_3 & 32 \\ 28 & 28 & & & \end{vmatrix}^T = \\
 &= \begin{vmatrix} B_{1111} & B_{112} & 29 & B_3 & 32 \\ 8 & 28 & & & \\ 9 & & & & \\ 28 & & & & \end{vmatrix}^T = \\
 &= \begin{vmatrix} 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 & 24 & 25 & 26 & 27 & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 & 24 & 25 & 26 & 27 & 29 & B_3 & 32 \\ 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & & & \\ 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & & & & & & & & & & & & & \\ 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & & & & & & & & & & & & & \end{vmatrix}^T = \\
 &= [B] = \begin{vmatrix} 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 & 24 & 25 & 26 & 27 & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 & 24 & 25 & 26 & 27 & 29 & 30 & 32 \\ 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & & 31 \\ 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & 9 & & & & & & & & & & & & & \\ 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & 28 & & & & & & & & & & & & & \end{vmatrix}^T .
 \end{aligned}$$

Упростим полученные выражения для событий $[A]$ и $[B]$, используя алгебру логики, получим:

$$\begin{aligned}
 P(A) &= (1 \cdot 2) + (3 \cdot 4) + (3 \cdot 5) + (3 \cdot 6) + (7 \cdot 8 \cdot 9) + (10 \cdot 11) + (10 \cdot 12) + \\
 &+ (10 \cdot 13) + 14 + 15 + 16 + (17 \cdot 9 \cdot 8) + (10 \cdot 11) + (10 \cdot 12) + (10 \cdot 13) + 14 = \\
 &= (1 \cdot 2) + (3 \cdot (4 + 5 + 6)) + (9 \cdot 8)(7 + 17) + (10 \cdot (11 + 12 + 13)) + 14 + 15 + 16 .
 \end{aligned}$$

Этому упрощённому представлению без повторяющихся событий

соответствует следующее двухполюсное представление, где каждому слагаемому соответствует минимальное сечение, если используется символ «·» – означает параллельное соединение элементов, а «+» – последовательное (рисунок 2.34).

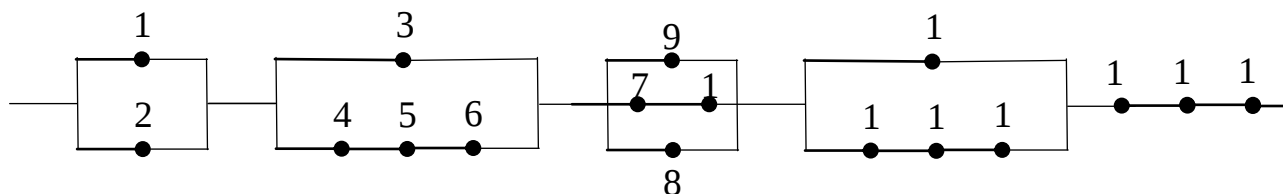


Рисунок 2.34 – Схема двухполюсного представления события *A*

Аналогично для события *B* получим (рисунок 2.35):

$$\begin{aligned}
 P(B) = & (18 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 28) + (19 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 28) + (20 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 28) + (21 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 28) + \\
 & + (22 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 28) + + (23 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 28) + (24 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 28) + (25 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 28) + \\
 & + (26 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 28) + (27 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 28) + (18 \cdot 28) + (19 \cdot 28) + (20 \cdot 28) + \\
 & + (21 \cdot 28) + (22 \cdot 28) + (23 \cdot 28) + (24 \cdot 28) + (25 \cdot 28) + (26 \cdot 28) + \\
 & + (27 \cdot 28) + 29 + (30 \cdot 31) + 32 = \\
 = & (28(18 + 19 + 20 + 21 + 22 + 23 + 24 + 25 + 26 + 27)) + \\
 & + 29 + (30 \cdot 31) + 32.
 \end{aligned} \tag{2.14}$$

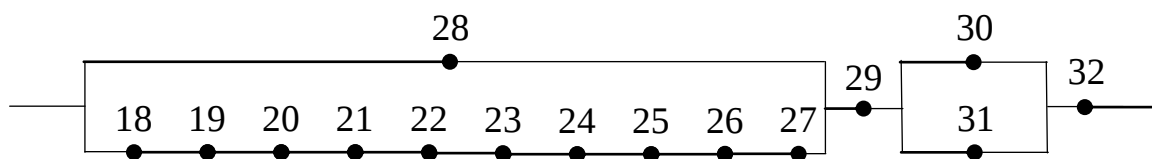


Рисунок 2.35 – Схема двухполюсного представления события *B*

Добавив к событиям *A* и *B* событие *C*, например, для случая состава из

трёх вагонов, в котором допускается работоспособное не менее двух элементов, получим следующую двухполюсную модель столкновения поезда из-за отказа тормозной системы поезда (рисунок 2.36). На рисунке элемент C соответствует двухполюсному представлению события C , полученному выше.

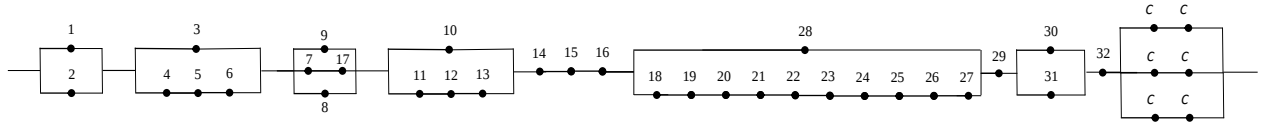


Рисунок 2.36 – Схема двухполюсного представления событие S

Вероятность события S можно представить:

$$\begin{aligned}
 P(S) = & (1 - (1 - P_1)(1 - P_2)) \times (1 - (1 - P_3)(1 - P_4P_5P_6)) \times \\
 & \times (1 - (1 - P_9)(1 - P_8)(1 - P_7P_{17})) \times (1 - (1 - P_{10})(1 - P_{11}P_{12}P_{13})) \times \\
 & \times P_{14}P_{15}P_{16} \times (1 - (1 - P_{28})(1 - P_{18}P_{19}P_{20}P_{21}P_{22}P_{23}P_{24}P_{25}P_{26}P_{27})) \times \\
 & \times P_{29} \times (1 - (1 - P_{30})(1 - P_{31})) \times P_{32} \times W, \quad (2.15)
 \end{aligned}$$

$$\text{где } W = \left(1 - \sum_{j=0}^{n-m} C_n^j \cdot P_C^j (1 - P_C)^{(n-j)} \right) \text{ или } W = \sum_{j=m-k}^n C_n^j \cdot P_C^j (1 - P_C)^{(n-j)}. \quad (2.16)$$

Здесь P_C – вероятность безотказной работы тормозной системы вагона (т.е. вероятность события C); m – минимальное число исправно работающих тормозных систем вагонов из n вагонов в составе, $(n-m)$ – максимальное число недействующих тормозных систем вагонов.

Таким образом, получено выражение вероятности столкновения поезда или проезда запрещающего сигнала за время t . Проанализировав полученное двухполюсное представление модели аварийности поезда из-за неисправности тормозной системы, можно выделить две категории событий:

- к первой относятся события, возникновение которых сразу приводит к

наступлению вершинного события;

- ко второй относятся остальные события.

Очевидно, что в древовидную структуру тормозной системы поезда входят как отказы тормозов вагонов, так и тормозного оборудования на локомотиве. Поскольку цель работы разработка методики расчётного обоснования гарантийных участков ПТО вагонов, то будем рассматривать только те составляющие (отказы), за которые несёт ответственность вагонное хозяйство.

2.7 Выводы по разделу 2

1) С учётом применённых понятий безопасности объекта, аварийного состояния, аварии, крушения сформированы древовидная и двухполюсная модели аварийности грузового вагона.

2) На основе выполненных исследований и применения метода построения дерева событий относительно крушения поезда в конструкции вагона можно выделить две группы отказов. К первой группе можно отнести отказы, которые сразу могут привести к крушению поезда (столкновению или сходу с рельсов). Ко второй группе можно отнести отказы, которые могут привести к неблагоприятному событию при одновременном наступлении. Поэтому в расчётную схему безопасности вагонов нужно в первую очередь включать элементы первой группы.

3) В математической модели вероятности схода вагона с рельсов не учтены элементы тормозной системы поезда, что потребовало ее усовершенствования. Как показано, к сходу вагона с рельсов может привести падение триангеля на путь. При этом в конструкции предусмотрено несколько степеней защиты от этого события, а также существуют контрольные мероприятия, поэтому события, приводящие к падению триангеля, можно отнести ко второй группе отказов.

4) Рассмотрение в тормозной системе поезда трёх функций позволило применить частную теорему о повторении опытов при определении вероятности отказа системы, создающей тормозную силу, для получения вероятностной модели столкновения поезда.

3 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЁТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ПРОТЯЖЁННОСТИ ГАРАНТИЙНЫХ УЧАСТКОВ ПТО ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

3.1 Теоретическая модель обеспечения безопасности движения грузовых вагонов на гарантийном участке

Как уже отмечалось выше, первой функцией ВХ является своевременное обнаружение повреждений и отказов вагонов в условиях эксплуатации на гарантийном участке ПТО, которые влияют на обеспечение безопасности движения в поездной и маневровой работе. Обеспечение безопасности движения означает такую организацию ТООР, при которой исключается следование вагона в повреждённом состоянии. При этом опасным последствием является невыявление опасных отказов, которые приводят к транспортным происшествиям на гарантийном участке.

Большое количество причин транспортных происшествий обычно разбивают на следующие группы:

- причины, возникающие вследствие отказов техники – колесных пар, боковин, наддресорных балок тележек, автосцепных устройств, тормозного оборудования и др.

- причины, возникающие из-за ошибок оперативного персонала ВХ, так называемый человеческий фактор: халатное отношение к своим трудовым профессиональным обязанностям, ошибки персонала, низкая квалификация, нарушения трудовой и технологической дисциплины.

- причины, возникающие из-за неблагоприятных (роковых) сочетаний обстоятельств (РСО), каждое из которых зачастую в отдельности не является опасным.

Мероприятия, направленные на устранение вышеперечисленных причин, для практического применения требует определенных ресурсов – трудовых, финансовых, материальных, затрат времени. Следовательно,

необходимо учитывать эффективность любых мероприятий, которые обычно включаются в отраслевые программы обеспечения безопасности. Перед транспортной наукой стоит очень важная задача создания методологической основы для оценок эффективности любых мероприятий по обеспечению безопасности движения.

Как известно, в процессе эксплуатации вагон подвергается действию различных нагрузок, который приводят к невыполнению возложенных функций, поэтому переход конструкции вагона в аварийное состояние, происходит из-за изначально недостаточной её прочности или истощения в процессе эксплуатации заложенного ресурса деталей и узлов, низкого качества ремонта и несвоевременной постановки вагона в ремонт.

Некоторая часть из подобных причин являются объективными, так как пока не существует технических средств контроля процесса накопления усталостных повреждений в материале конструкции вагона, следовательно, не существует и фиксации определенного предпредельного состояния. В результате наступит период, когда вследствие цикличности нагружения, запас пластичности в материале будет исчерпан – материал переходит в хрупкое состояние, разрушение может наступить в любой момент при напряжениях ниже допускаемых.

К тому же, вагонные конструкции имеют существенный недостаток – ограниченную контролепригодность некоторых ответственных деталей и узлов в условиях эксплуатации относительно повреждений, имеющих внешние признаки. Для грузовых вагонов упомянутый недостаток особенно опасен из-за специфической формы их эксплуатации.

Вследствие указанных выше причин, брака в работе осматривщиков и определенной живучести конструкции, вполне реальна ситуация, когда вагон какое-то время находился скрытом аварийном состоянии (САС), но использовался в перевозочном процессе как исправный.

Пребывание вагона в САС может завершиться:

- постановкой его в плановый ремонт (просто пришло время);

- обнаружением опасного повреждения узла вагона с последующей отцепкой вагона в текущий ремонт;
- переходом вагона в очевидное для всех состояние полной потери работоспособности (сход с рельсов, разрыв автосцепки и др.) с соответствующими последствиями той или иной степени тяжести.

Для уменьшения вероятности вхождения вагона в САС необходимо установить правильное соотношение между безотказностью ξ и периодичностью плановых ремонтов, т.е. параметром безопасности вагона $l_{БД}$, под которым понимается максимально допустимый пробег вагона между его глубокими диагностиками. Под указанным типом диагностики понимается тот объем диагностических работ, который принято производить в рамках деповского (ДР) или капитального (КР) ремонтов.

Из двух ситуаций, представленных на рисунке 3.1, безопасна та, которая обозначена позицией *а*. В этом случае период безотказной работы ($0; \xi$) перекрывает периодичность глубокой диагностики $l_{БД}$. Зная показатель безотказности вагонных конструкций, можно установить периодичность плановых ремонтов или глубоких диагностик.

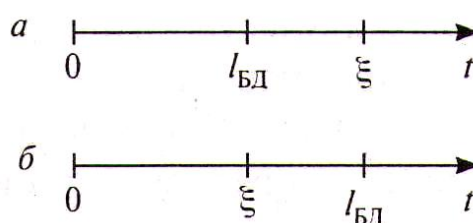


Рисунок 3.1 – Факторы, определяющие вхождение вагона в САС

Прежде чем переходить к анализу указанных выше вариантов из САС, дадим некоторые пояснения к такому свойству объектов, как живучесть.

Приступим теперь к краткому анализу вариантов выхода вагона из САС, для чего воспользуемся наглядной интерпретацией явления, представленной на рисунке 3.2.

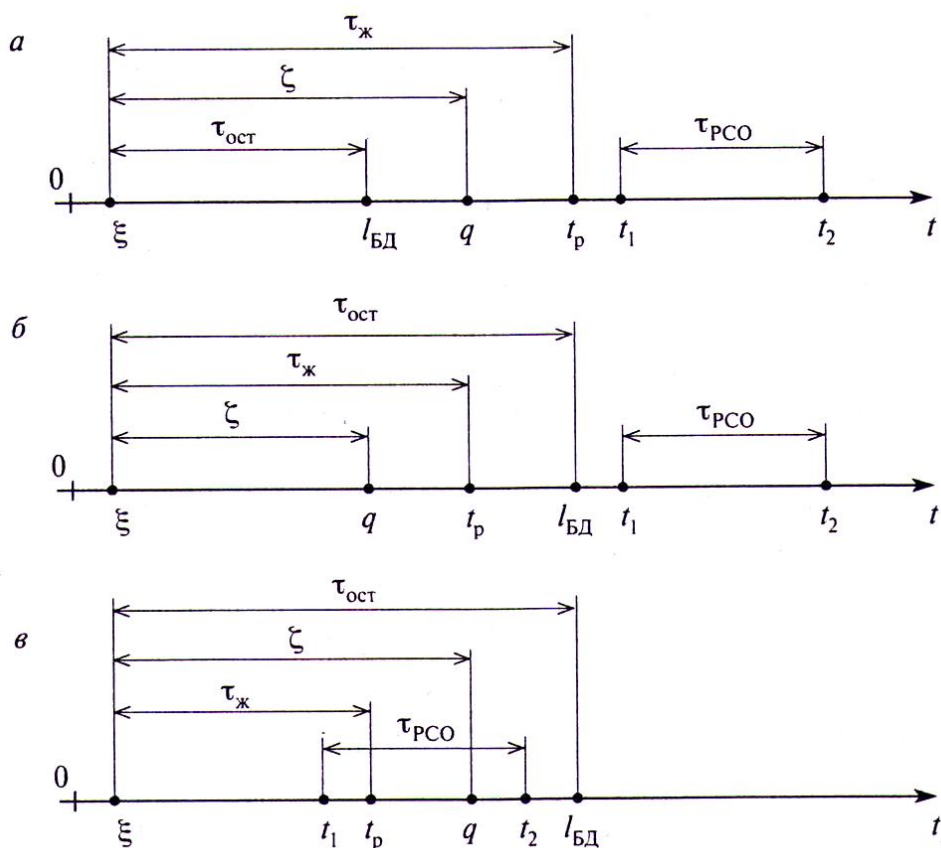


Рисунок 3.2 – Варианты выхода вагона из скрытого аварийного состояния

Первый вариант выхода из САС характеризуется следующими условиями (рисунок 3.2, а):

$$\tau_{ж} > \tau_{ост}; \zeta > \tau_{ост}; t_1 > l_{БД}, \quad (3.1)$$

где ξ и q – наработка вагона появления и обнаружения опасного повреждения соответственно; $l_{БД}$ – заранее планируемый момент постановки вагона в глубокую диагностику (или в ремонт); t_p – момент полной потери работоспособности вагона; t_1 и t_2 – соответственно момент начала и окончания действия РСО; $\tau_{ж}$ – живучесть конструкции; $\tau_{ост} = l_{БД} - \xi$ – наработка аварийного вагона до ближайшего планового ремонта (деповского или капитального) или глубокой диагностики; ζ – промежуток времени между моментами появления и обнаружения опасного отказа ($\zeta = q - \xi$); $\tau_{РСО} = t_1 - t_2$ – продолжительность действия РСО.

Понятно, что величины ζ , q , ξ , $\tau_{жс}$, $\tau_{ост}$, t_p , t_1 , t_2 являются случайными, а на рисунке 3.2 показаны их конкретные реализации.

Этот вариант срабатывает, видимо, чаще других и, тогда основной преградой на пути к аварии является дефектоскопия в рамках планового ремонта или глубокой диагностики. Указанный вид контроля на порядок эффективнее контроля технического состояния вагона в эксплуатации.

Для того, чтобы нахождение вагона в САС оканчивалось благополучно, то есть постановкой его в деповской ремонт или на глубокую диагностику, необходимы несущие ответственные узлы, запас живучести которых $\tau_{жс}$ был бы сопоставим с величиной $l_{БД}$. Тогда, для качественного скачка в решении проблемы обеспечения безопасности эксплуатации вагонов достаточно овладеть методами вложения требуемых запасов живучести путем подбора материалов и целенаправленного конструирования.

Второй вариант выхода вагона из САС представлен на рисунке 3.2 б характеризуется следующими условиями:

$$\tau_{ост} > \zeta; \tau_{жс} > \zeta; t_1 > q. \quad (3.2)$$

Этот вариант является предпочтительным, и для его реализации создана, по сути говоря, отраслевая система своевременного обнаружения опасных повреждений (ОСОП) вагонов. Более того, функция по своевременному выявлению отказов и повреждений вагонных конструкций является самой важной для вагонного хозяйства.

Для увеличения вероятности реализации рассматриваемого варианта выхода вагона из САС необходимы мероприятия, направленные на уменьшение величины ζ – повышение квалификации осматривщиков, совершенствование вагонных конструкций в части их контролепригодности и т.п.

Третий вариант выхода вагона из САС представлен на рисунке 3.2 характеризуется следующим условием:

$$\tau_{жс} < \zeta < \tau_{ост}. \quad (3.3)$$

Если к тому же имеет место условие $t_1 < t_p$, то возможны тяжелые последствия транспортного происшествия, которое в этом случае может быть квалифицировано как авария или крушение поезда. Напомним, что событие $\{t_1 < t_p\}$ означает, что в период нахождения вагона в САС имело место неблагоприятное сочетание обстоятельств (PCO).

Таким образом, чем большим запасом живучести обладают вагонные конструкции, тем большим резервом времени обладают осмотрщики вагонов для выявления САС вагонов. Дополнительный промежуток времени у осмотрщиков на выявление САС вагонов имеет место также благодаря тому, что вагоны отцепляются не по отказам конструкций, а по установленным признакам предпредельного их состояния.

3.2 Вербальная модель процесса выявления опасных повреждений вагонов в условиях эксплуатации

В основе метода решения рассматриваемой задачи лежит словесно сформулированная модель функционирования действующей системы своевременного обнаружения опасного повреждения, имеющегося на конкретном вагоне.

В документах [45, 51] регламентирована план и последовательность операций контроля технического состояния вагонов: в транзитных поездах, при подготовке к перевозкам; в парках сортировочных станций; на станциях перед затяжными спусками; на пунктах передачи вагонов. Кратко рассмотрим основные этапы контроля технического состояния вагонов в парке прибытия сортировочной станции.

- Получив сообщение от оператора ПТО о времени и пути приема поезда, группы осмотрщиков выходят на пути приема поезда. Одна группа занимает позицию на месте остановки хвостового вагона прибывающего поезда, а другая – на месте остановки головного вагона.

- Дежурный по станции (ДС) предъявляет к техническому обслуживанию работникам ПТО состав. О принятии заявки на производство технического обслуживания дежурный по станции записывает в книгу предъявления вагонов грузового парка к техническому обслуживанию формы ВУ-14 номера головного и хвостового вагонов (если в составе более 15 вагонов) с указанием количества всех предъявляемых к осмотру вагонов. Старший осмотрщик расписывается о принятии состава к техническому обслуживанию.

- При осмотре с ходу первая группа осмотрщиков решает задачу по выявлению возможных дефектов колесных пар, неисправностей буксовых узлов и рессорных комплектов.

- После остановки поезда головная группа, получив информацию от локомотивной бригады о работе автотормозного оборудования и замеченных в пути неисправностях, сообщает другим группам номера неисправных вагонов.

- Происходит разъединение соединительных рукавов между локомотивом и первым вагоном. Магистральный локомотив отправляется в депо.

- Открывается концевой кран для выпуска воздуха из тормозной магистрали поезда.

- Состав ограждается специальными сигналами с головы и хвоста, о чем оповещает оператор ПТО группы осмотрщиков по радио.

- Группы осмотрщиков приступают к проверке технического состояния состава одновременно с двух сторон состава. Продолжительность контроля технического состояния вагонов 30 мин.

- Информацию о выявленных неисправностях вагонов осмотрщик по радиосвязи передает оператору ПТО (номер пути, номер вагона, наименование ремонтных работ) и наносит четкие меловые надписи на боковых стенах кузовов, на вагоны, требующие текущего ремонта, выписывается уведомление формы ВУ-23 ЭТД.

- Получив эти данные, оператор ПТО снимает сигналы ограждения и оповещает об этом бригаду осматрщиков и о готовности поезда к роспуску.

Предположим, пары осматрщиков вагонов на ПТО и $(k-1)$ резервных пар их коллег, каждая из которых находится, на своем ПТО по ходу движения поезда производят операцию контроля технического состояния вагона, согласно инструкции. Резервная пара осматрщиков соседней станции по ходу движения поезда по назначению начинает проводить ТО после допущенного брака парой осматрщиков предыдущего ПТО, не обнаружившей в вагоне опасного повреждения. Этот процесс продолжается до тех пор, пока одна из $(k-1)$ пар осматрщиков обнаружит повреждение, либо его обнаружат при проведении очередного планового ремонта.

В данном случае k – это максимально возможное число попыток обнаружения имеющегося на вагоне опасного повреждения в течение продолжительности его пробега, начиная от момента появления в этом вагоне повреждения и до очередного планового ремонта.

Таким образом, объектом исследования в рамках математической модели будем рассматривать не только одно, а множество ПТО, где вагон проходит контроль технического состояния в процессе эксплуатации на технических станциях в период между плановыми ремонтами (что соответствует значению параметра безопасности вагона $l_{БД}$ при существующей стратегии проведения ДР). При этом стоит задача не просто расчётным образом обосновать протяженность гарантийного участка ПТО (обозначим его $l_{гв}$) с учетом оценки технического состояния тормозной системы вагона, а рассчитать оптимальное его значение.

Нас будет интересовать не просто расчётным образом обоснованная протяженность гарантийного участка ПТО (обозначим его $l_{гв}$), а оптимальное его значение.

3.3 Математическая формулировка задачи

В качестве объекта оптимизации рассмотрен план контролей технического состояния вагона на отрезке $(0, l_{БД})$:

$$X_n = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (3.4)$$

где x_n – план контролей технического состояния вагона; $l_{БД}$ – периодичность проведения вагону ремонтов крупного объёма (т.е. глубокой диагностики), x_i – пробег вагона до i -го контроля технического состояния вагона на интервале $(0, l_{БД})$, начиная отсчет его с нуля; n – число проверок технического состояния вагона на отрезке $(0, l_{БД})$.

Рассматриваемая оптимизационная задача будем решать в рамках следующих допущений и предположений:

- ввиду того что вероятность обнаружения опасного повреждения вагона в условиях ПТО весьма мала по сравнению с вероятностью обнаружения того же опасного повреждения в условиях ДР или КР, то уместно предположить, что при ДР и КР почти со стопроцентной вероятностью выявляют опасные повреждения и полностью восстанавливают работоспособность вагонов;

- брак в работе осмотровиков вагонов возможен, однако будем считать, что обнаруженные опасные повреждения или отказы устраняют полностью, т.е. будем рассматривать только одну функцию ВХ – своевременное выявление имеющихся опасных повреждений вагонов;

- будем полагать, что уровень квалификации осмотровиков вагонов на соседних ПТО примерно одинаков.

Важной частью решения рассматриваемой задачи (увеличения протяжённости гарантийного участка ПТО) является вывод формулы целевой функции (ЦФ) для сформулированной оптимизационной задачи.

В качестве ЦФ будем использовать т.н. функцию эксплуатационных потерь (ФЭП), которая имеет два случайных аргумента. Первый – это непрерывная случайная величина ξ – наработка вагона до появления (не до обнаружения!) в нём опасного повреждения. Второй – это дискретная случайная величина v_i , закон распределения которой удобно, как известно, представить в табличной форме:

$$v_i \begin{array}{|c|c|} \hline 1 & 0 \\ \hline p_i & 1-p_i \\ \hline \end{array} \quad (3.5)$$

где p_i – вероятность того, что пара осмотрщиков i -го ПТО обнаружит имеющееся на вагоне опасное повреждение. Следовательно, под выражением $(1-p_i)$ можем понимать вероятность брака в их работе. Вероятность p_i зависит от квалификации осмотрщиков вагонов, технологической и трудовой дисциплины, времени суток, погодных условий, контролепригодности вагонных конструкций и т.п. С помощью случайной величины v_i можно будет учитывать перечисленные выше факторы. Использование в качестве аргумента ЦФ случайной величины ξ позволит учитывать прочность и свойство надёжности вагонных конструкций.

Таким образом, аргументы искомой ЦФ (ξ и v_i) характеризуют случайный процесс появления и обнаружения опасных повреждений вагонов. В качестве неслучайных факторов, влияющих на результат решения задачи, будем рассматривать параметры C и v .

Первый параметр C – это затраты на однократный контроль технического состояния вагона на ПТО:

$$C = 0,16 \frac{S}{N}, \quad (3.6)$$

где S – среднемесячные затраты на содержание и обеспечение функционирования ПТО вагонов; N – количество проследовавших вагонов через данную техническую станцию за месяц; 0,16 – удельный вес затрат труда на контроль технического состояния вагона на ПТО.

Второй параметр ЦФ ν – это усредненное значение экономических потерь ЖДТ из-за пребывания вагона в САС (скрытом аварийном состоянии) в течение единицы времени (или пробега вагона).

Более весомые трудности возникают при определении параметра ν , так как учесть ожидаемые затраты из-за использования вагона, который находится в САС, по понятным причинам сложно. Однако, не вызывает сомнений тот факт, что устранение последствий даже одного крушения или аварии поезда средних размеров окупает даже самые дорогостоящие программы и мероприятия, направленные на своевременное обнаружение отказов.

Поэтому нужна такая процедура оценки ν , благодаря которой в метод оптимизации плана D_n закладывалась хотя бы часть нашего страха перед крушением поездов на транспорте.

Таких процедур много. Остановимся на той, в основе которой лежит представление о величине ν как об удельной стоимости риска крушения, численно равной произведению вероятности нежелательного события (крушения) на удельный ущерб от крушения.

Из множества крушений на транспорте за период, равный $l_{БД}$, остановимся на том, которое произошло по вине ВХ. По данным служебного расследования рассматриваемого крушения найдём ущерб, который имели транспорт, клиентура и сторонние организации. Эти затраты в дальнейшем будем трактовать как ожидаемый ущерб от крушения.

Итак, величину ν рекомендуется вычислять по формуле:

$$\nu = \frac{\pi}{l_{БД}} \cdot R, \quad (3.7)$$

где π – ожидаемый ущерб от крушения; R – закладываемый риск (вероятность) крушения поезда по вине ВХ за период времени, соответствующий $l_{БД}$.

Рассматриваемая ЦФ определена на оси x -пробегов вагона. Обозначим её $G_{D_n}(v_i, \xi)$ и выразим через компоненты вектора пробегов вагона (3.4).

Поскольку принято допущение, что уровень квалификации осмотрщиков вагонов примерно одинаков, то это позволяет опустить индекс при случайной величине v_i , т.е. $v_i \equiv v$.

В следующем разделе обоснуем существование экстремума функции эксплуатационных потерь (рассматриваемой в качестве ЦФ). Структура функции такова, что затраты на компенсацию последствий аварий и крушений поездов уравниваются расходами на организацию своевременного обнаружения опасных повреждений вагонов в эксплуатации. Следовательно, существование экстремума ЦФ не вызывает сомнений.

3.4 Вывод выражения целевой функции оптимизационной задачи

Поскольку аргументы ЦФ являются случайными величинами, то сама функция принимает случайные значения. В таком виде ЦФ не может быть использована в оптимизационной задаче. Поэтому корректнее рассмотреть функцию эксплуатационных потерь $G_{D_n}(v, \xi)$, которая будет сначала усреднена по случайной величине v , а затем по случайной величине ξ . Полученное в результате этих операций выражение можно считать искомой целевой функцией.

Рассмотрим пример формирования математического ожидания функции $G_{D_n}(v, \xi)$ по случайной величине v , приняв $n=4$ (рисунок 3.3).

Здесь приведены шесть возможных случаев перехода вагона в САС, которые обозначены цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6. Для каждого из случаев получим выражение математического ожидания ФЭП по случайной величине v .

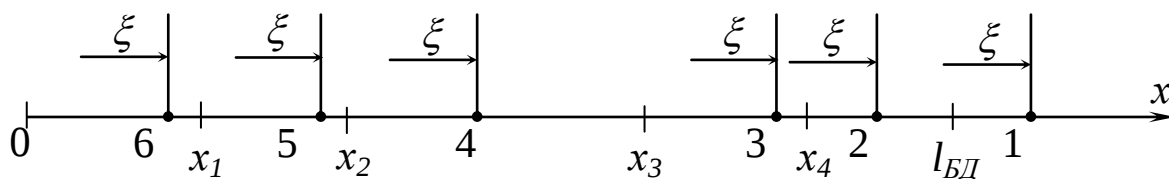


Рисунок 3.3 – Возможные варианты перехода вагона в САС при $n=4$

Случай 1. Имеет место событие $\{\xi > l_{БД}\}$, состоящее в том, что вагон перешел в САС вне рассматриваемого межремонтного пробега $(0, l_{БД})$. В этом случае осмотрщики вагонов не имели возможности продемонстрировать уровень своей квалификации, так как за межремонтный пробег рассматриваемого вагона не появилось в нём опасного повреждения. Следовательно, величина эксплуатационных потерь для рассматриваемого случая:

$$M_v G_{D_4}(v, \xi) = 4C. \quad (3.8)$$

Случай 2. В этом случае имеет место событие $\{x_4 < \xi \leq l_{БД}\}$, т.е. рассматриваемый вагон перешел в САС на отрезке $(x_4, l_{БД})$. Следовательно, величина математического ожидания эксплуатационных потерь $G_{D_4}(v, \xi)$ по случайной величине v может быть подсчитана по формуле:

$$M_v G_{D_4}(v, \xi) = 4C + (l_{БД} - \xi) \cdot v. \quad (3.9)$$

В этом случае также осмотрщики вагона не имели возможность проявить степень своей квалификации.

Случай 3. Опасное повреждение появилось на отрезке (x_3, x_4) . Подлежат рассмотрению два события:

$$A = \left\{ \begin{array}{l} \text{в момент времени } x_4 \text{ (т.е. на ПТО №4)} \\ \text{обнаружено опасное повреждение вагона} \end{array} \right\} \quad (3.10)$$

и вероятность наступления этого события $p = P\{A\}$.

$$B = \left\{ \begin{array}{l} \text{в момент времени } x_4 \text{ (т.е. на ПТО №4)} \\ \text{не обнаружено опасное повреждение} \\ \text{вагона} \end{array} \right\} \quad (3.11)$$

и вероятность наступления этого события $P\{B\} = (1-p)$.

В случае появления события B , рассматриваемое повреждение обязательно будет обнаружено в момент $x = l_{БД}$, т.е. при проведении ДР (КР). В случае наступления события A величина эксплуатационных потерь (ЭП):

$$C + (x_4 - \xi) \cdot \nu, \quad (3.12)$$

возникает с вероятностью p , а в случае появления события B величина эксплуатационных потерь (ЭП):

$$C + (l_{БД} - \xi) \cdot \nu, \quad (3.13)$$

возникает с вероятностью $(1-p)$. Тем самым, можем представить в табличной форме закон распределения нашей функции ЭП или, что все равно, ЦФ от ξ :

$$G_{D_4}(\xi): \begin{array}{|c|c|c|} \hline 3C & (x_4 - \xi)\nu + C & (l_{БД} - \xi)\nu + C \\ \hline 1 & p & 1-p \\ \hline \end{array} \quad (3.14)$$

Тогда, согласно правилу теории вероятностей, математическое ожидание ФЭП имеет вид:

$$M_v G_{D_4}(v, \xi) = 3C + [(x_4 - \xi)v + C]p + [(l_{BD} - \xi)v + C](1-p). \quad (3.15)$$

Случай 4. Опасное повреждение появилось на отрезке (x_2, x_3) .
Аналогично получим выражение математического ожидания ФЭП:

$$\begin{aligned} M_v G_{D_4}(v, \xi) = & \underbrace{2C + [(x_3 - \xi)v + C]p}_{\substack{\text{обнаружено в момент } x_3 \\ \text{с вероятностью } p}} + \\ & \underbrace{[(x_4 - \xi)v + 2C](1-p)p}_{\substack{\text{не обнаружено в момент } x_3 \text{ с вероятностью } (1-p), \text{ но} \\ \text{обнаружено в момент } x_4 \text{ с вероятностью } p.}} + \\ & \underbrace{[(l_{BD} - \xi)v + 2C](1-p)(1-p)}_{\substack{\text{Используем теорему умножения вероятностей} \\ \text{этих независимых событий}}} \times 1. \end{aligned} \quad (3.16)$$

не обнаружено в момент x_3 с вероятностью $(1-p)$, и
не обнаружено в момент x_4 с вероятностью $(1-p)$, но
обнаружено в момент l_{BD} с вероятностью, равной 1

Случай 5. Опасное повреждение появилось на отрезке (x_1, x_2) . Тогда, следуя той же логике рассуждений, получаем следующее выражение:

$$\begin{aligned} M_v G_{D_4}(v, \xi) = & C + [(x_2 - \xi)v + C]p + \\ & + [(x_3 - \xi)v + 2C](1-p)p + \\ & + [(x_4 - \xi)v + 3C](1-p)(1-p)p + \\ & + [(l_{BD} - \xi)v + 3C](1-p)(1-p)(1-p). \end{aligned} \quad (3.17)$$

Случай 6. Опасное повреждение появилось на отрезке $(0, x_1)$:

$$\begin{aligned} M_v G_{D_4}(v, \xi) = & [(x_1 - \xi)v + C]p + [(x_2 - \xi)v + 2C](1-p)p + \\ & + [(x_3 - \xi)v + 3C](1-p)^2 p + \\ & + [(x_4 - \xi)v + 4C](1-p)^3 p + [(l_{BD} - \xi)v + 4C](1-p)^4. \end{aligned} \quad (3.18)$$

Таким образом, математическое ожидание ФЭП по случайной величине v имеет следующий вид:

$$M_v G_{D_4}(v, \xi) = \begin{cases} 4C, \text{ при } \xi > l_{BD}; \\ 4C + (l_{BD} - \xi)v, \text{ при } x_4 < \xi \leq l_{BD}; \\ 3C + [(x_4 - \xi)v + C] \cdot p + [(l_{BD} - \xi)v + C](1-p) & \text{при } x_3 \leq \xi \leq x_4; \\ 2C + [(x_3 - \xi)v + C]p + [(x_4 - \xi)v + 2C](1-p)p + \\ + [(l_{BD} - \xi)v + 2C](1-p)^2, & \text{при } x_2 < \xi \leq x_3; \\ C + [(x_2 - \xi)v + C]p + [(x_3 - \xi)v + 2C](1-p)p + \\ + [(x_4 - \xi)v + 3C](1-p)^2 p + [(l_{BD} - \xi)v + 3C](1-p)^3, & \text{при } x_1 < \xi \leq x_2. \\ + [(x_1 - \xi)v + C]p + [(x_2 - \xi)v + 2C](1-p)p + [(x_3 - \xi)v + 3C](1-p)^2 p + \\ + [(x_4 - \xi)v + 4C](1-p)^3 p + [(l_{BD} - \xi)v + 4C](1-p)^4, & \text{при } 0 < \xi \leq x_1, \end{cases} \quad (3.19)$$

С учётом рассмотренного примера можно получить рекуррентную закономерность при переходе от одного интервала возникновения САС к другому (начиная с третьего). Это позволяет заменить четыре последних в (3.19) формулы одной:

$$\begin{aligned} & kC + [(x_{k+1} - \xi)v + C]p + \\ & + p \sum_{s=1}^{n-(k+1)} (1-p)^s [(x_{k+1+s} - \xi)v + (s+1)C] + \\ & + [(l_{BD} - \xi)v + (n-k)C](1-p)^{n-k}, \\ & \text{при } x_k < \xi \leq x_{k+1}, \quad \text{где } k = \overline{0, n-1}, \end{aligned} \quad (3.20)$$

На основе (3.19) и (3.20), обобщенное (т.е. для любого n) выражение математического ожидания ФЭП по случайной величине v :

$$M_v G_{D_n}(v, \xi) = \begin{cases} nC, \text{ при } \xi > l_{BD}; \\ nC + (l_{BD} - \xi)v, \text{ при } x_n < \xi \leq l_{BD}; \\ kC + [(x_{k+1} - \xi)v + C] \cdot p + p \sum_{s=1}^{n-(k+1)} (1-p)^s [(x_{k+1+s} - \xi)v + (s+1)C] + \\ + [(l_{BD} - \xi)v + (n-k)C](1-p)^{n-k}, & \text{при } x_k < \xi \leq x_{k+1}, \text{ где } k = \overline{0, n-1}. \end{cases} \quad (3.21)$$

Теперь требуется получить выражение для математического ожидания от выражения (3.21) по случайной величине ξ . Для этого введём несколько

обозначений: обозначим $F(t)$ – функцию распределения случайной величины ξ и обозначим: $M_{\xi}[M_{\nu}G_{D_n}(\nu, \xi)] \equiv MG_{D_n}(\xi)$.

Из выражения (3.21) видно, что ФЭП может быть представлена условно следующим образом:

$$\Phi ЭП = \begin{cases} G_{D_n}(\xi), & \text{если } \xi \leq l_{БД}; \\ G_{D_n}(l_{БД}), & \text{если } \xi > l_{БД}. \end{cases} \quad (3.22)$$

Выражение (3.22) можно интерпретировать следующим образом. ФЭП, как функция случайной величины ξ , принимает множество случайных значений, которое разобьём на два подмножества, обозначив их через I и II . Пусть подмножество I состоит из тех случайных значений ФЭП, которые получены при значениях случайной величины ξ , меньших $l_{БД}$, т.е. при $\xi \leq l_{БД}$. А подмножество II состоит из тех значений ФЭП, которые получены при значениях ξ , больших $l_{БД}$, т.е. при $\xi > l_{БД}$. Тогда любое значение ФЭП, принадлежащее подмножеству I происходит с вероятностью $P\{\xi \leq l_{БД}\}$, а из II – с вероятностью $P\{\xi > l_{БД}\}$. Тогда закон распределения случайной величины $\eta \equiv G_{D_n}(\xi)$ или ФЭП можно представить таблично:

$\Phi ЭП$	$G_{D_n}(\xi)$	$G_{D_n}(l_{БД})$
	$P\{\xi \leq l_{БД}\}$	$P\{\xi > l_{БД}\}$

(3.23)

В этом случае выражение математического ожидания ФЭП по случайной величине ξ можно представить в виде:

$$MG_{D_n}(\xi) = \int_0^{l_{БД}} G_{D_n}(x) dF(x) + G_{D_n}(l_{БД}) \cdot \bar{F}(l_{БД}). \quad (3.24)$$

Формула (3.24) – искомое выражение для целевой функции, под которой следует понимать формулу средних эксплуатационных потерь за

период между плановыми ремонтами $(0, l_{БД})$. Стоит отметить, что наличие в правой части выражения (3.17) второго слагаемого позволяет считать, что интегрирование функции $G_{D_n}(x)$ происходит на интервале $(0, \infty)$, что принципиально важно, так как по определению:

$$M\xi = \int_0^{\infty} x dF(x). \quad (3.25)$$

Располагая $F(x)$, под которой понимается функция распределения наработки вагона до появления (не до обнаружения!) опасного повреждения, требуется найти такой вектор пробегов до контролей технического состояния вагона (или план контролей технического состояния вагона $D_n = (x_1, x_2, \dots, x_n)$), на котором ЦФ (3.24) принимает минимальное значение.

Эта задача разрешима с точки зрения возможностей математического аппарата. Однако существует серьёзное препятствие для этого, так как информационная база ЖДТ не располагает технологией производства таких данных, которые были бы пригодны для идентификации указанной выше функции распределения наработки до появления (не до обнаружения!) опасного повреждения $F(x)$.

С учётом этого приходится использовать целевую функцию (3.24) в предположении отсутствия информации о $F_\xi(x)$. Математическое ожидание ФЭП (3.24) зависит от $F_\xi(x)$, поэтому нам ничего не мешает предположить, что существует такая функция $F^*(x)$, на которой достигается максимум эксплуатационных потерь, т.е.

$$\max_F MG_{D_n}(\xi). \quad (3.26)$$

Получаемая при этом погрешность при решении поставленной задачи, пойдёт гарантировано в запас безопасности вагона. Теперь остается в интервале $(0, l_{БД})$ выбрать такой вектор пробегов $D_n = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, на котором выражение (3.26) достигает минимального значения:

$$\min_{D_n} \max_F MG_{D_n}(\xi), \quad (3.27)$$

которое и является искомым критерием оптимизации протяжённости гарантийного участка ПТО вагонов.

Методика решения подобных минимаксных задач известна [2]. В данном случае оптимальные пробеги x_i ($i = \overline{1, n}$), через которые следует контролировать техническое состояние вагона, могут быть вычислены по формуле:

$$x_i = i \cdot p \cdot \left[\frac{l_{БД}}{n^* p + 1} + \frac{C}{2v} \left(\frac{n^* [(n^* + 1)p + 2]}{n^* p + 1} - (i + 1) \right) \right], \quad (3.28)$$

где n^* – наибольшее n , при котором выполняется неравенство:

$$Cp^2 n^2 + Cp(2 - p)n + 2(C - pv l_{БД}) \leq 0. \quad (3.29)$$

Как видно из выражения (3.28), оптимальная периодичность контроля технического состояния вагона переменна. Учитывая минимаксную постановку задачи, вполне допустимо использовать приближённую оценку протяжённости гарантийного плеча ПТО вагонов:

$$l_{cy} = \frac{l_{БД}}{n^*}. \quad (3.30)$$

Тем самым найдена связь между периодичностью глубокой диагностики вагона (или периодичностью плановых ремонтов) и протяжённостью гарантийного участка ПТО.

Существующие на ЖДТ информационные технологии позволяют использовать формулу (3.28) для рациональной организации контроля технического состояния каждого в отдельности вагона, как это делается в рамках отраслевой системы своевременной постановки вагонов в плановые ремонты.

Не менее полезна и формула (3.30) в сочетании с (3.29), с их помощью можно оценить влияние себестоимости контроля технического состояния вагона (C) и брака в работе осматривщиков ($1-p$) на протяжённость безостановочного пробега поезда, т.е. на его маршрутную скорость. Следовательно, имеется возможность решать и обратную задачу – определить, какие мероприятия следует провести и какими ресурсами для этого нужно располагать, чтобы увеличить маршрутную скорость поездов.

3.5 Вывод по разделу 3

Разработанная ранее методика позволяет на основе вероятностных моделей с учётом допущений об идентичности ПТО и квалификации осматривщиков вагонов сформулировать оптимизационную задачу планирования оптимальной периодичности контролей технического состояния вагонов в период между плановыми ремонтами, методика позволяет учитывать показатели безопасности вагона, надёжности ответственных элементов (перечень которых сформирован в третьей главе), уровень контролепригодности, качества работы осматривщиков вагонов, качество плановых ремонтов, требуемый уровень рисков на железнодорожном транспорте, расходы на работу системы своевременного обнаружения опасных отказов на ПТО. Кроме того, разработанная методика расчётного обоснования гарантийного участка ПТО ориентирована на использование возможностей существующей информационной базы железнодорожного транспорта. Для её применения потребуется на основе эксплуатационной информации оценить параметр безопасности вагона, а для этого получить вероятностные модели опасных отказов, включая элементы тормозной системы.

4 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИНЫ ГАРАНТИЙНОГО УЧАСТКА ПТО НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С УЧЁТОМ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ПОЕЗДА

4.1 Параметр безопасности вагона

Вагонный парк для железнодорожного транспорта является как источником прибыли, так одним из источников опасности – причиной транспортных происшествий, крушения и аварий, которые происходят на гарантийных участках ПТО. Каждый третий случай нарушения безопасности движения происходит из-за опасных отказов вагона. Эти события происходят в случайные моменты времени, поэтому для их описания необходимо использовать аппарат теории надёжности.

Как отмечено ранее, под безопасностью объекта будем понимать его свойство, которое заключается в предсказуемости его переходов в аварийное состояние при его использовании по назначению. В качестве такого показателя обосновано применение параметра, обозначенного $l_{БД}$, под которым понимают максимально допустимую наработку вагона между проведением глубоких диагностик (таким объёмом диагностических работ, который реализуют в настоящее время в деповском или капитальном ремонтах).

В предыдущем разделе было показано, каким образом связан этот показатель с оптимальной периодичностью контролей технического состояния вагона в период между плановыми ремонтами, а также гарантийным участком ПТО.

При определении $l_{БД}$ необходимо учитывать отказы, соответствующие перечисленным выше требованиям и входящие в модель аварийности вагона.

Из многолетнего анализа нарушения безопасности движения по ВХ следует, что в основном происходят отказы в результате постепенного

развития дефекта до предельного состояния, после чего происходит разрушение детали. Поэтому на железном транспорте очень важное значение имеет обоснование периодичности технического контроля, т.е. расстояние между техническим обслуживанием на гарантийных участках ПТО.

Допустимый уровень организации системы технического обслуживания, качество технического обслуживания на гарантийном участке ПТО, период эффективной эксплуатации вагона не только взаимосвязаны между собой, но и влияют на уровень безопасности движения поездов. При обосновании параметров системы технического обслуживания и ремонта вагонов необходимо использовать эксплуатационные показатели уровня безопасности.

К таким показателям, имеющим принципиальное значение для организации системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, относится максимальная допустимая периодичность глубоких диагностик – параметр безопасности $I_{БД}$. Это количественный показатель безопасной эксплуатации вагона, под которым понимается максимально допустимый интервал между глубокими диагностиками. Другим важным показателем является величина гарантийного участка ПТО $I_{ГУ}$.

Для оценки параметра безопасности необходимо учитывать то обстоятельство, что он зависит многих факторов, в первую очередь от прочности и надежности вагонных конструкций, контролепригодности основных деталей и узлов во время эксплуатации и последствий их отказов, от квалификации осматривщиков, стратегии ремонта, своевременности постановки в ремонт и т.п.

Следовательно, для её получения требуется обосновать модель отказа (вид закона распределения наработки до опасного отказа), провести эксперимент в соответствии с планом испытаний на надёжность, обработать результаты и получить соответствующие оценки параметров модели отказа.

Для получения параметра безопасности предложено несколько методик [38, 39, 57]:

Воспользуемся следующей цепочкой рассуждений.

Как показано в разделе 2, безопасность грузового вагона определяет безотказная работа n составных частей, отвечающих трём упомянутым выше требованиям. Отказ каждой из них может стать причиной схода вагонов с рельсов или столкновения и, при неблагоприятном стечении обстоятельств, внезапно привести к крушению поезда.

Поскольку любой из упомянутых отказов приводит к нарушению безопасности движения, то эти составные части соединены между собой последовательно в смысле надёжности [60]. В этом случае можно ввести в рассмотрение случайную величину τ – наработку вагона до аварийного состояния, которая выражается через случайные наработки до отказа своих составных частей. Тогда можно записать:

$$\tau = \min(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n), \quad (4.1)$$

где τ_i – наработка до опасного отказа i -й части вагона ($i = \overline{1, n}$).

Будем полагать, что расчётное значение параметра безопасности вагона конкретного типа $l_{БД}$ равно математическому ожиданию наработки вагона до перехода его в аварийное состояние:

$$l_{БД} = M\tau. \quad (4.2)$$

Обозначим через $F_1(t), F_2(t), \dots, F_n(t)$ функции распределения наработок до опасного отказа соответствующих частей вагона. При этом сделаем два допущения:

1) моменты появления отказов совпадают с моментами их обнаружения, т.е. предполагается идеальная организация исполнения первой функции ВХ;

2) случайные величины τ_i ($i = \overline{1, n}$) независимы. Данное предположение при последовательном (в смысле надёжности) соединении частей вагона идёт в запас его надёжности [60].

Тогда функция распределения наработки вагона до перехода его в аварийное состояние имеет вид:

$$\begin{aligned}
 F(t) &= P\{\tau \leq t\} = 1 - P\{\tau > t\} = \\
 &= 1 - P\{\min(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n) > t\} = \\
 &= 1 - P\{\tau_1 > t, \tau_2 > t, \dots, \tau_n > t\} = \\
 &= 1 - P\{\tau_1 > t\} \cdot P\{\tau_2 > t\} \cdot \dots \cdot P\{\tau_n > t\} = \\
 &= 1 - \overline{F}_1(t) \cdot \overline{F}_2(t) \cdot \dots \cdot \overline{F}_n(t),
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

где $\overline{F}_i(t) = 1 - F_i(t)$.

Тогда, как известно из теории вероятностей, имеем:

$$M\tau = \int_0^n \overline{F}_1(t) \cdot \overline{F}_2(t) \times \dots \times \overline{F}_n(t) dt. \tag{4.4}$$

Обозначим через $t_i = M\tau = \int_0^\infty \overline{F}_i(t) dt$ среднюю наработку i -той составляющей части до её опасного отказа. Если предположить, что наработки до опасных отказов τ_i ($i=1, n$) имеют экспоненциальное распределение, то расчётная периодичность глубокой диагностики вагона определяется по формуле:

$$l_{БД} = M\tau = \left(\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{t_i} \right)^{-1}, \tag{4.5}$$

где m_i – кратность i -го элемента конструкции вагона.

Для нахождения $l_{БД}$ потребуется получить точечные оценки t_i для всех опасных отказов, входящих в древовидную модель безопасности вагона.

Начнём рассмотрение с отказов, входящих в древовидную структуру схода вагона с рельсов, приведённых в таблице 2.4.

4.2 Обоснование функции распределения наработки до появления опасного отказа

Одним из важных этапов при определении параметра безопасности вагона является модели опасных отказов. Как уже выше отмечалось, безопасность движения поездов относительно схода вагонов с рельсов в первую очередь определяют трещины основных несущих элементов конструкции вагона. В качестве опасного отказа необходимо рассматривать образование первой и только первой трещины в материале детали.

Как известно из работы [38], наработка основных деталей до появления в их материале первой трещины описывается двухпараметрическим Вейбуловским законом распределения, который можно записать в следующем виде:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}, \quad (4.6)$$

где a и b – параметры масштаба и формы этого закона распределения, определяемые на основе эксперимента.

С математической точностью доказано, что наработка до опасного события (отказа) вагона, входящего в список, приведённый в таблице 2.4, подчиняется закону распределения Вейбула–Гнеденко [61].

4.3 Выбор плана испытания на надёжность

При проведении эксперимента собираемая информация должна соответствовать одному из стандартных планов испытаний на надёжность [11], без чего невозможно корректно провести обработку результатов испытания.

На сегодняшний день на железнодорожном транспорте действует

отраслевая автоматизированная система централизованного пономерного учёта вагонов (ЦПУВ), а также её подсистема – журнал технического состояния грузового вагона (ЖТСВ). В этой системе можно по номеру вагона проследить процесс изменения его технического состояния и его ответственных элементов, в том числе определить дату и завод изготовления и начала эксплуатации, а также продолжительность безотказной её эксплуатации на момент постановки вагона в ремонт [62]. Случай обнаружения осмотрщиком ПТО отказа вагона отражается в вагонной учётной форме ВУ-23 ЭТД. Эта информация с указанием причины отказа передаётся ЖТСВ. Таким образом, информационная база позволяет собирать в реальном времени информацию о наработках до отказов вагонов в условиях эксплуатации, а также провести эксперимент в соответствии с одним из стандартных планов испытаний на надёжность.

С помощью системы ЦПУВ сформирован массив информации, который содержит информацию по вагонам конкретного типа (модели или возрастной группы), удовлетворяющим определённым требованиям. В качестве примера рассмотрим универсальные четырёхосные вагоны собственности Российской Федерации, выпущенные в 2015 г. Алтайским вагоностроительным заводом. Этим требованиям соответствуют $N=4037$ вагонов. По базе данных ЖТСВ для каждого из N вагонов фиксируем случаи обнаружения отказов этих вагонов. Наблюдение за каждым вагоном будем проводить в течение $T=12$ месяцев, начиная с даты постройки.

Таким образом, в эксперименте можно вести наблюдение за N однотипными деталями, не имеющими конструктивных различий и одинаковых по возрасту. Кроме того, обнаруженные трещины в деталях не ремонтируют. Поэтому проводимый эксперимент может соответствовать стандартному плану испытаний на надёжность типа $[NUT]$. Здесь символ U означает, что отказавший объект не восстанавливают, а заменяют на новый или ранее отремонтированный.

В результате проведённого в 2017 году эксперимента получена

выборка объёма $v=m+s$, содержащая ряд наработок, завершившихся отказом (обозначим $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_m$), и ряд безотказных наработок (обозначим $t_1, t_2, t_3, \dots, t_s$). Пример выборки приведён в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Пример выборки наработок

№	№ вагона	Дата постройки			Дата отказа			Код неисправности			Наработка до отказа, мес.
		Год	Мес.	День	Год	Мес.	День	1	2	3	
1	XXXXXX59	2015	10	28	-	-	-	-	-	-	-
2	XXXXXX67	2015	10	28	2016	9	8	-	-	151	10,33
3	XXXXXX75	2015	10	28	-	-	-	-	-	-	0,00
4	XXXXXX83	2015	10	28	2015	1	25	-	443	902	3,5
5	XXXXXX09	2015	10	28	2016	5	29	-	-	441	7,03

Рассмотрим технологию получения точечных оценок параметров закона распределения наработки до отказа основных деталей и узлов вагона.

4.4 Точечные оценки параметров закона распределения наработки до опасного отказа деталей вагонов

Рассмотрим методику оценки точечных параметров законов распределения.

Для определения параметров законов распределения, вид которого обоснован, применим метод максимального правдоподобия.

Функция правдоподобия для неполной выборки имеет вид [32]:

$$L = \sum_{i=1}^m \ln f_i(t) + \sum_{j=1}^s \ln(1 - F_j(t)), \quad (4.7)$$

где m – число отказов, зафиксированных в период эксперимента; s – число безотказных, наработок в период эксперимента; $f_i(t)$ – плотность распределения наработки до опасного отказа; $F_j(t)$ – функция распределения наработки до опасного отказа (вероятностная модель отказа).

Для рассматриваемой детали (например, боковой рамы тележки) наработка до опасного отказа (как показано выше) подчиняется закону Вейбула–Гнеденко (4.6), а плотность распределения этой модели имеет вид:

$$f(t) = F'(t) = \frac{b}{a} \left(-\frac{t}{a} \right)^{b-1} e^{-\left(\frac{t}{a} \right)^b}. \quad (4.8)$$

С учётом (4.6) и (4.8), выражение функции правдоподобия для неполной выборки и закона распределения Вейбула–Гнеденко имеет вид:

$$L = m \ln b - mb \ln a + (b-1) \sum_{i=1}^m \ln t_i - a^{-b} \left[\sum_{i=1}^m t_i^b - \sum_{j=1}^s t_j^b \right], \quad (4.9)$$

где $t_i, i=\overline{1, m}$ – i -ая наработка до отказа; $t_j, j=\overline{1, s}$ – j -ая безотказная наработка.

Искомые точечные оценки параметров a и b получают, исходя из максимума функции правдоподобия (4.9), вычисляя частные производные и приравняв их нулю:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial a} = 0 \end{array} \right. ; \quad (4.10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial b} = 0 \end{array} \right. , \quad (4.11)$$

получим выражение для получения точечной оценки параметра $\hat{a}$:

$$\hat{a} = \left[\frac{\sum_{i=1}^m \hat{t}_i^{\hat{b}} - \sum_{j=1}^s \hat{t}_j^{\hat{b}}}{m} \right]^{\frac{1}{\hat{b}}}. \quad (4.12)$$

Поставив выражение (4.12) в (4.9), получим выражение для вычисления точечной оценки параметра $\hat{b}$:

$$\frac{m}{\hat{b}} = -\sum_{i=1}^m \ln t_i + m \frac{\sum_{i=1}^m \hat{t}_i^{\hat{b}} \ln t_i + \sum_{j=1}^s \hat{t}_j^{\hat{b}} \ln t_j}{\sum_{i=1}^m \hat{t}_i^{\hat{b}} + \sum_{j=1}^s \hat{t}_j^{\hat{b}}} . \quad (4.13)$$

Следует отметить, что точечная оценка параметра $\hat{a}$ в явном виде зависит от параметра $\hat{b}$. Однако получить выражение для определения точечной оценки параметра $\hat{b}$ в явном виде из уравнения 4.13 не представляется возможным. Поэтому для её определения можно воспользоваться методикой, приведённой в работе [8], либо использовать графический метод, либо воспользоваться методом итераций Ньютона - Рафсона.

Таким образом, выше рассмотрена методика получения точечных оценок параметров закона распределения Вейбула–Гнеденко.

Рассмотрим технологию получения точечных оценок параметров закона распределения наработки до опасного отказа на примере боковой рамы тележки. В соответствии с действующим на сети железных дорог классификатором неисправностей грузовых вагонов [25], интересующему нас опасному событию соответствует код 205 – трещина / излом боковины (рамы).

В эксперименте участвовало 4037 вагонов, с учётом кратности деталей в конструкции $N= 16148$ боковых рам. Наблюдение проводилось в течение первых 12 месяцев после постройки вагона ($T=12$ мес.). Всего в эксперименте было зафиксировано 78 случаев опасных отказов вагонов ($m=78$), подтверждённых в результате последующего неразрушающего контроля. Нарботки до отказов вагонов приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Нарботки до отказов боковой рамы тележек

№	Условный номер вагона	Нарботка до отказа, мес.	№	Условный номер вагона	Нарботка до отказа, мес.	№	Условный номер вагона	Нарботка до отказа, мес.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	52250495	1,56	27	53398954	7,87	53	54892369	10,13
2	28004489	2,87	28	58475377	7,93	54	28042786	10,16
3	55572424	2,93	29	53837761	7,97	55	28044311	10,20
4	28003085	3,30	30	54357132	8,00	56	28043420	10,23
5	59908657	3,46	31	53829644	8,03	57	28047819	10,23
6	55566152	3,53	32	59907600	8,30	58	53798476	10,33
7	59906685	3,53	33	58483355	8,49	59	58438722	10,33
8	55643670	4,33	34	58481953	8,56	60	28045854	10,34
9	57953127	4,39	35	58483884	8,66	61	58484031	10,59
10	58474438	5,07	36	52333499	8,69	62	58485160	10,62
11	55566111	5,13	37	53399408	8,72	63	28042406	10,67
12	55650063	5,53	38	58481771	8,76	64	28046928	10,67
13	58474578	5,67	39	53713988	8,85	65	53715041	10,69
14	54179783	5,69	40	28046449	8,97	66	58484049	10,72
15	58473562	5,93	41	28047140	9,10	67	53797239	10,74
16	53837605	6,10	42	58484338	9,20	68	58482605	10,79
17	58475575	6,13	43	52258795	9,36	69	28045748	11,15
18	58474867	6,39	44	53398335	9,39	70	55294524	11,21
19	53829206	6,56	45	53796066	9,39	71	53795852	11,23
20	52268398	6,70	46	52318292	9,53	72	55293658	11,23
21	52235991	6,72	47	28045771	9,61	73	55293294	11,36
22	52232196	6,84	48	54358015	9,90	74	55293716	11,49
23	53829818	7,33	49	54357785	9,93	75	58438615	11,53
24	53398467	7,39	50	54892286	9,97	76	54872668	11,59
25	53829586	7,59	51	54891833	10,07	77	55296149	11,59
26	54357728	7,77	52	54131982	10,13	78	58482761	11,93

Безотказные наработки одинаковые и равны $t_j = T = 12$ мес., $s = 16070$.

С помощью выражений (4.12) и (4.13) получены точечные оценки параметров закона распределения $\hat{b} = 2,36$, $\hat{a} = 114,61$ мес., а теоретическая функция распределения наработки до опасного отказа боковины тележки (рисунок 4.1) имеет вид:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{11461}\right)^{2.36}}. \quad (4.14)$$

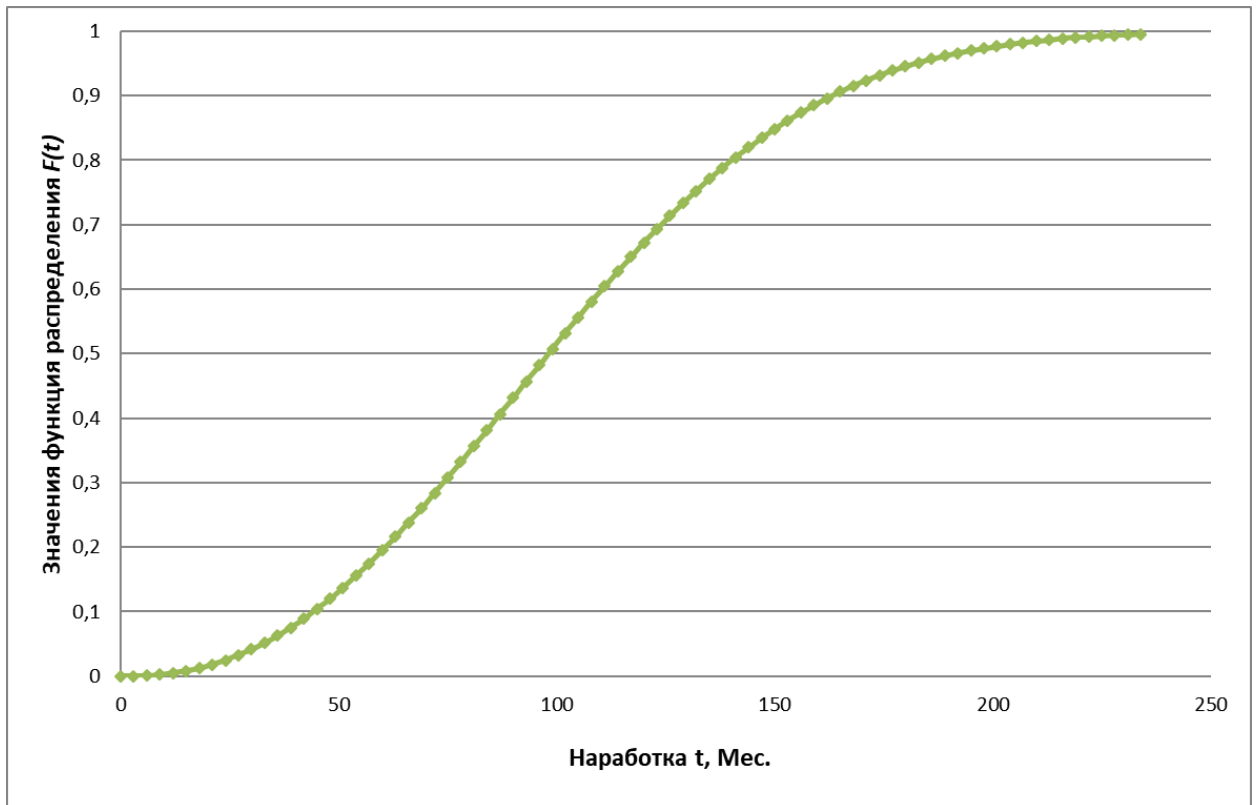
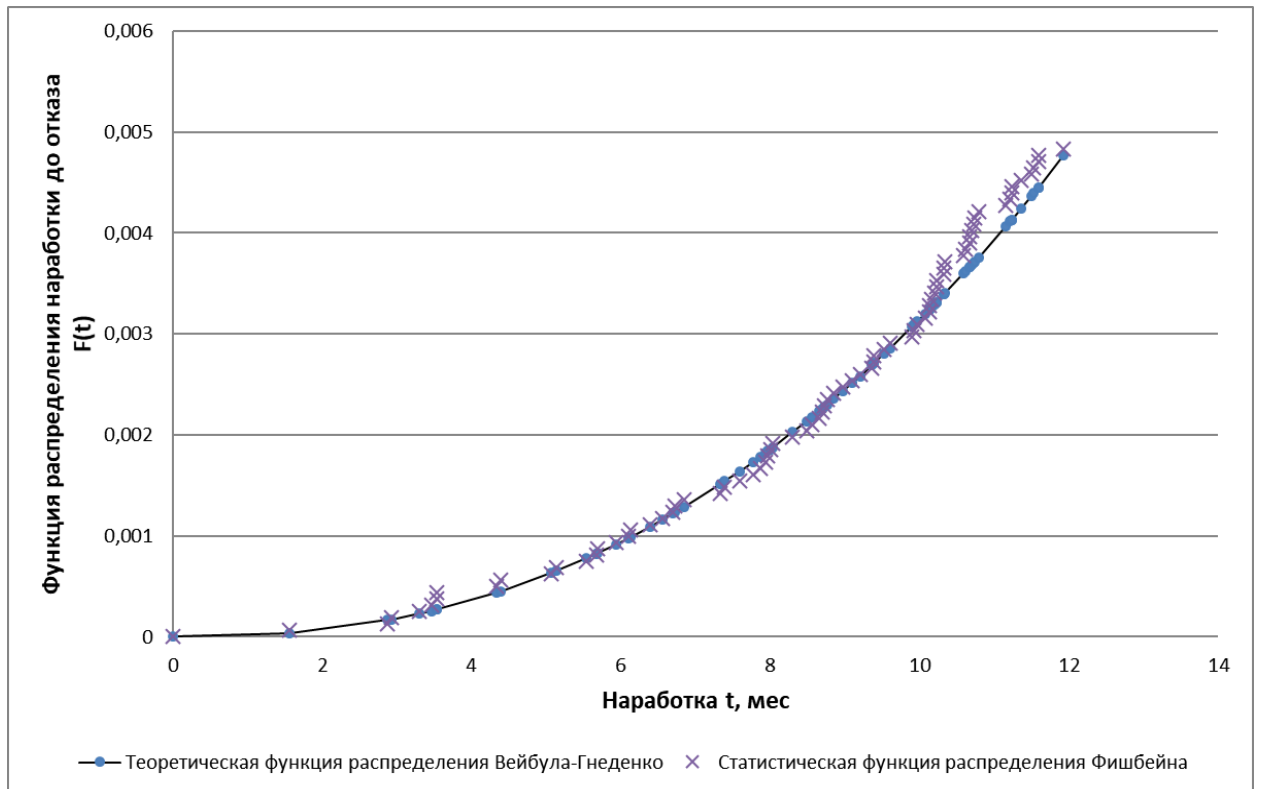


Рисунок 4.1 – Закон распределения наработки до отказа боковины тележки с точечными параметрами $\hat{b}=2,36$, $\hat{a}=114,61$ мес.

Теперь перейдём к анализу качества точечных оценок закона распределения наработок до отказов. Для этого необходимо построить статистическую функцию распределения. С помощью метода Ф.И. Фишбейна [67] построим статистическую функцию распределения наработки до отказа для полученной однократно усечённой выборки:

$$\hat{F}_{\phi}(\tau_i) = \frac{i}{v+1-j^*}, \quad (4.15)$$

где i – порядковый номер отказной наработки, j^* – порядковый номер безотказной наработки, ближайшей в вариационном ряду к i -ой наработке сверху, v – количество элементов в вариационном ряду. Полученные значения приведены в таблице 4.3, график представлен на рисунке (рисунок 4.2).



$$D_n = \sup |F_\Phi(\tau_i) - F(\tau_i)| = 0,00045. \quad z = D_n \sqrt{n} < t_{0,05} = 0,00045 \sqrt{16148} = 0,0572 < 1,36$$

Рисунок 4.2 – Теоретическая и статистическая функции распределения

С помощью критерия хи-квадрат проверим меру расхождения двух функций $F(t)$ и $\hat{F}_\Phi(t)$. Для этого сформируем статистический ряд:

$$\chi_n^2 = \sum_{k=1}^r \frac{(v_k - np_k)^2}{np_k}, \quad (4.16)$$

где n – объём выборки, $p_k = F(t_k) - F(t_{k-1})$, t_k – k -я наработка в вариационном ряду (в эксперименте), v_k – число тех наработок τ_i , которые попадают в соответствующий интервал: $z_{k-1} < \tau_i \leq z_k$, $k = \overline{1, r}$.

Для проверки гипотезы о близости полученной модели и статистической функций распределения наработки до опасного отказа боковины рассмотрим шесть интервалов $r=6$ (таблица 4.4).

Таблица 4.3 – Эмпирическая функция распределения наработки до отказа боковины тележек

№	τ_i , мес.	$F(\tau_i)$	$F_\Phi(\tau_i)$	№	τ_i , мес.	$F(\tau_i)$	$F_\Phi(\tau_i)$	№	τ_i , мес.	$F(\tau_i)$	$F_\Phi(\tau_i)$
1	1,56	0,00004	0,00006	27	7,87	0,00179	0,00167	53	10,13	0,00324	0,00328
2	2,87	0,00016	0,00012	28	7,93	0,00182	0,00173	54	10,16	0,00326	0,00334
3	2,93	0,00017	0,00019	29	7,97	0,00184	0,00180	55	10,20	0,00329	0,00341
4	3,30	0,00023	0,00025	30	8,00	0,00186	0,00186	56	10,23	0,00332	0,00347
5	3,46	0,00026	0,00031	31	8,03	0,00187	0,00192	57	10,23	0,00332	0,00353
6	3,53	0,00027	0,00037	32	8,30	0,00202	0,00198	58	10,33	0,00339	0,00359
7	3,53	0,00027	0,00043	33	8,49	0,00214	0,00204	59	10,33	0,00339	0,00365
8	4,33	0,00044	0,00050	34	8,56	0,00218	0,00211	60	10,34	0,00340	0,00372
9	4,39	0,00045	0,00056	35	8,66	0,00224	0,00217	61	10,59	0,00360	0,00378
10	5,07	0,00063	0,00062	36	8,69	0,00226	0,00223	62	10,62	0,00362	0,00384
11	5,13	0,00065	0,00068	37	8,72	0,00228	0,00229	63	10,67	0,00366	0,00390
12	5,53	0,00078	0,00074	38	8,76	0,00230	0,00235	64	10,67	0,00366	0,00396
13	5,67	0,00082	0,00081	39	8,85	0,00236	0,00242	65	10,69	0,00368	0,00403
14	5,69	0,00083	0,00087	40	8,97	0,00243	0,00248	66	10,72	0,00370	0,00409
15	5,93	0,00092	0,00093	41	9,10	0,00252	0,00254	67	10,74	0,00372	0,00415
16	6,10	0,00098	0,00099	42	9,20	0,00258	0,00260	68	10,79	0,00376	0,00421
17	6,13	0,00099	0,00105	43	9,36	0,00269	0,00266	69	11,15	0,00406	0,00427
18	6,39	0,00109	0,00111	44	9,39	0,00271	0,00272	70	11,21	0,00411	0,00433
19	6,56	0,00116	0,00118	45	9,39	0,00271	0,00279	71	11,23	0,00413	0,00440
20	6,70	0,00122	0,00124	46	9,53	0,00281	0,00285	72	11,23	0,00413	0,00446
21	6,72	0,00123	0,00130	47	9,61	0,00286	0,00291	73	11,36	0,00425	0,00452
22	6,84	0,00128	0,00136	48	9,90	0,00307	0,00297	74	11,49	0,00436	0,00458
23	7,33	0,00151	0,00142	49	9,93	0,00309	0,00303	75	11,53	0,00440	0,00464
24	7,39	0,00154	0,00149	50	9,97	0,00312	0,00310	76	11,59	0,00445	0,00471
25	7,59	0,00164	0,00155	51	10,07	0,00320	0,00316	77	11,59	0,00445	0,00477
26	7,77	0,00173	0,00161	52	10,13	0,00324	0,00322	78	11,93	0,00476	0,00483

Таблица 4.4 – Результаты расчётов критерия хи-квадрат

Номер точек r	Интервал, мес.	v_k	$F(t_k)$	p_k	np_k	χ^2
1	0-2	1	0,000070	0,000070	1	0,0161
2	2-4	6	0,000361	0,000291	5	0,3595
3	4-6	8	0,000941	0,000580	9	0,1993
4	6-8	14	0,001856	0,000915	15	0,0409
5	8-10	21	0,003143	0,001286	21	0,0025
6	10-12	28	0,004831	0,001688	27	0,0205
Критерий хи-квадрат						0,6387

Зададим теперь уровень значимости ошибки α и по таблице [3] найдем квантиль t_α распределения хи-квадрат из условия $P\{\chi^2_{(r-1)} \in (0, t_\alpha)\} = 1 - \alpha$.

Для уровня значимости $\alpha=0,95$ при числе степенной свободы, равном $(r-1)=5$, табличное значение χ^2 равно 1,15. Фактическое значение χ^2 соответствует условию $\chi^2 < t_\alpha$, что позволяет принять гипотезу о согласованности теоретической кривой и статистической информации.

Таким образом, полученную функцию распределения наработки до опасного отказа боковины тележки грузового можно использовать при решении сформулированной задачи. Тогда точечная оценка средней наработки до отказа боковины будет:

$$\bar{T} = \hat{a} \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\hat{b}}\right) = 114,6 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,36}\right) = 101,57 \text{ мес.} \quad (4.17)$$

Здесь $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функция, значения которой определяем с помощью таблицы [3].

Аналогично получены точечные оценки параметров закона распределения для опасного отказа надрессорной балки. Результаты точечных оценок приведены в таблице 4.5.

Для остальных элементов конструкции, приводящих к сходу вагона с рельсов (таблица 2.4), в эксперименте не зафиксировано случаев обнаружения опасных отказов, т.е. получена сильно усечённая выборка, состоящая только из безотказных наработок.

В случае, когда объём статистической информации об отказах очень мал, то при оценке параметров закона распределения используют априорные данные о величине одного из параметров. Применительно к закону распределения Вейбула-Гнеденко это параметр формы $\hat{b}$, алгоритм получения которого приведён в [21].

Так, для сильно усечённых выборок оценка средней наработки до отказа определяется по формуле:

$$\hat{T} = \frac{T \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)}{b\sqrt[q]{q}}, \quad (4.18)$$

где T – продолжительность эксперимента, b – параметр формы закона распределения Вейбула-Гнеденко, q – вероятность отказа элемента конструкции за время T :

$$q = \frac{m}{N}, \quad (4.19)$$

здесь m – количество наработок до отказов сильно усечённой выборки, N – объём выборки.

В случае, когда $m=0$, с помощью (4.18) и (4.19) вычисляют ряд значений $\hat{T} = \hat{T}(m)$, для $m=1,2,3$. Через точки $(1, \hat{T}(1))$, $(2, \hat{T}(2))$, $(3, \hat{T}(3))$ проводят кривую, пересечение которой с осью $m=0$ даёт приближение искомой оценки математического ожидания, когда количество зафиксированных отказов в эксперименте равно 0, т.е. $\hat{T}(0)$.

В работе рекомендовано использовать интерполяционную формулу Лагранжа для приближённого построения кривой $\hat{T}(m)$. При этом для трёх точек и закона распределения Вейбула-Гнеденко получим:

$$\hat{T}(0) = 3\hat{T}(1) - 3\hat{T}(2) + 4\hat{T}(3). \quad (4.20)$$

Так, например, для трещин колёс в эксперименте, соответствующем плану испытаний [$N=32296$ и $T=12$ мес.] не зафиксировано ни одного случая опасных отказов. Для выбора априорного значения $\hat{b}$ сначала по таблице, представленной в [21] определяют цифровой код, соответствующий преобладающим факторам изготовления рассматриваемого элемента конструкции вагона, его эксплуатации и особенностей разрушения. Затем по полученному коду устанавливают интервал для параметра формы $\hat{b}$. Получим этот диапазон относительно трещин колёс, для чего анализируем:

- преобладающие факторы разрушения. Для усталостных трещит – это будет усталость (код 2);
- стабильность условий эксплуатации, интенсивность использования, климатические воздействия. Для колёс – это условия, меняющиеся в широких пределах (код 2);
- уровень технологии изготовления рассматриваемого элемента конструкции. Для колёс уровень технологии высокий (код 1);
- степень нагруженности. Для колёс – нагрузки, близкие к максимальным (код 1).

Тогда цифровой код: 2-2-1-1. Ему соответствует интервал, в котором в первом приближении находится точечная оценка параметра $\hat{b}$ в пределах [2,7-1,9], принимаем $\hat{b}=2,2$.

Тогда по формулам (4.18) и (4.19) будем иметь:

$$\hat{T}(1) = \frac{t_c \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)}{b \sqrt[m]{N}} = \frac{12 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,2}\right)}{2,2 \sqrt[2]{32296}} = 1191,36 \text{ мес.} \quad (4.21)$$

Аналогично,

$$\hat{T}(2) = \frac{12 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,2}\right)}{2,2 \sqrt[2]{2}} = 869,39 \text{ мес.}, \quad (4.22)$$

$$\hat{T}(3) = \frac{12 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,2}\right)}{2,2 \sqrt[2]{3}} = 723,05 \text{ мес.} \quad (4.23)$$

Тогда по формуле (4.20) получим точечную оценку параметра $\hat{T}(0)$:

$$\hat{T}(0) = 3 \cdot 1191,36 - 3 \cdot 869,39 + 4 \cdot 723,05 = 3858,15 \text{ мес.}$$

При этом можно получить точечную оценку параметра $\hat{a}$:

$$\hat{a} = \frac{\hat{T}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\hat{b}}\right)}. \quad (4.24)$$

Её значение будет $\hat{a} = 1345,22$ мес.

Для остальных элементов конструкции, по отказам которых получена сильно усечённая выборка, результаты точечных оценок сведены в таблицу (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Результаты точечных оценок параметра закона распределения Вейбула-Гнеденко для сильно усечённых выборок

№ п/п	Наименование отказа	N	Цифровой код	Диапазон $\hat{b}$	Параметры		Т, мес.
					$\hat{a}$, мес.	$\hat{b}$	
1	Трещина колеса (обода, диска, ступицы, гребня)	32296	2-2-1-1	2,7-1,9	4356,4	2,2	3858,15
2	Трещина корпуса автосцепки	8074	2-2-2-1	2,1-1,7	3437,6	2,0	3046,49
3	Трещина пятника	8074	2-2-2-2	2,1-1,4	4318,3	1,9	3831,92
4	Трещина оси колёсной пары	16148	2-2-1-1	2,7-1,9	6219,5	1,9	5518,91
5	Трещины тягового хомута	8074	2-2-2-1	2,1-1,7	3437,6	2,0	3046,49

Полученные точечные оценки параметров закона распределения для опасных отказов, приводящих к сходу с рельсов, приведены в таблице (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Точечные оценки параметра закона распределения

Наименование детали	Отказ	Параметры		T, мес.
		$\hat{a}$, мес.	$\hat{b}$	
Боковая рама	Трещины или излом боковины	114,61	2,3	101,57
Надрессорная балка	Трещина или излом надрессорной балки	215,26	2,4	190,99
Колесо	Трещина/откол обода, гребня, диска колеса колесной пары	1345,22	2,2	3858,15
Автосцепка	Трещины в корпусе автосцепки	622,54	2,0	3046,49
Пятник	Трещины пятника	766,35	1,9	3831,92
Ось	Поперечная трещина оси колёсной пары и излом шейки оси	1103,73	1,9	5518,91
Тяговый хомут	Трещины, излом тягового хомута	622,54	2,0	3046,49

4.5 Определение интенсивности отказов элементов тормозной системы вагона

В предыдущем разделе получены вероятностные модели опасных отказов наиболее ответственных, несущих узлов и деталей конструкции, отказ которых приводит к сходу вагона с рельсов. Теперь перейдём к рассмотрению отказов тормозного оборудования, приводящих к столкновению поезда или проезду запрещающего сигнала светофора.

В работе [60] обосновано, что для описания наработки до отказа по трещиноподобным отказам можно использовать закон распределения Вейбула-Гнеденко, для износных отказов – нормальное распределение, а использование показательного распределения допустимо для неконтролируемых внезапных отказов. Так, например, относительно тормозной системы вагона нормальным распределением можно описывать износ тормозных колодок, шарниров соединения тормозной рычажной передачи и др. Вейбуловским распределением – трещины триангеля, кронштейнов и подвесок триангеля, тяг, подводящих трубок пневматической

системы и др. Показательное распределение можно применить для отказов пневматических приборов, у которых нет внешних признаков приближения к неработоспособному состоянию. Кроме того, известно, что использование показательного распределения идёт в запас надёжности (а, следовательно, и безопасности). Поэтому для любого элемента тормозной системы, входящей в разработанную модель аварийности вагона допустимо использовать показательное распределение [17].

Как отмечено ранее, отказы элементов тормозной системы поезда вагонов, являются контролируруемыми. Как показал выполненный анализ они ремонтпригодны и контролепригодны в условиях текущего технического содержания (в условиях станции). Кроме того, ремонт тормозной системы в большинстве случаев выполняют без отцепки вагона от поезда. В силу специфики существующей системы централизованного пономерного учёта вагонов информация о возникновении таких отказов не собирается в централизованной информационной базе журнала технического состояния вагонов. Поэтому не представляется возможным реализовать рассмотренную в предыдущем разделе методику получения вероятностных моделей таких отказов на основе проведения эксперимента с помощью информационной системы ГВЦ ОАО «РЖД».

Однако информация о необходимости проведения текущего безотцепочного ремонта на ПТО станции отражается в различных версиях АСУ ПТО и используется для оформления наряда-задания ремонтным бригадам. Так, например, для участка Хабаровск-Находка в период с 31 октября 2016 г. по 30 ноября 2016 г. на двух ПТО общее число обслуженных вагонов составляет 149 304 (84 210 и 65 094 соответственно). Собрана информация по АСУ ПТО о выполненных безотцепочных ремонтах вагонов, отправляемых в чётном направлении с первого ПТО и нечётном – со второго. К этой информации добавлены случаи текущих отцепочных ремонтов на ПТО. Интересующие нас отказы, входящие в сформированное дерево событий, приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Соответствие кодов АСУ ПТО и дерева событий

Код АСУ ПТО	Обозначение по дереву отказов
1	2
ТСП-3	a_{1121} – концевой кран перекрыт
ТСП-7	a_{1211} – пробка в магистрали
ТСП-17	a_{3111} – сужение проходного сечения тормозной магистрали
ТСП-18	b_{11111} – дутье в головке рукавов
ТСП-19	b_{11112} – дутье в рукаве
ТСП-20	b_{11113} – дутье в концевом кране
ТСП-21	b_{11114} – дутье в магистрали
ТСП-22	b_{11115} – дутье по тройнику-кронштейну
ТСП-23	b_{11116} – дутье по разобшительному крану
ТСП-24	b_{11117} – дутье по подводящей трубке
ТСП-25	b_{11118} – дутье по ВР
ТСП-26	b_{11119} – дутье по ЗР
ТСП-27	b_{111110} – дутье по фильтру
ТСП-33	d_{11} – перекрыт разобшительный кран
ТСП-34	d_{1211} – воздух не проходит
ТСП-37	d_{141} – дутье по штоку ТЦ
ТСП-38	d_{142} – нет пробки ТЦ
ТСП-39	d_{15} – обрыв подводящей трубки
ТСП-40	d_{16} – обрыв ЗР или выпускного клапана
ТСП-41	d_{17} – неисправен ВР или не сработал ВР
ТСП-42	d_{21} – выпадение валика рычажной передачи
ТСП-43	d_{22} – обрыв тяги
ТСП-44	d_{23} – обрыв авторегулятора
ТСП-45	d_{24} – излом рычагов
ТСП-46	d_{25} – завал рычагов
ТСП-47	d_{26} – излом триангеля
ТСП-48	d_{27} – обрыв кронштейна мертвой точки
ТСП-49	e_1 – разобшительный кран не полностью открыт
ТСП-50	e_2 – загрязнение сетчатого фильтра
ТСП-51	e_3 – задержка в работе ВР
ТСП-52	f_{11} – неисправен ВР
ТСП-53	f_{12} – утечки в ЗР
ТСП-55	f_{14} – утечки подводящих трубок
ТСП-56	f_{15} – неисправен авторежим
ТСП-57	f_{161} – неправильно установлен режим ВР

Продолжение таблицы 4.7

1	2
ТСП-60	f_{2111} – излом или износ колодок
ТСП-61	f_{2112} – неисправен авторегулятор
ТСП-62	f_{212} – неправильное соединение тяг (постановка валиков)
ТСП-63	f_{213} – неправильная установка затяжки горизонтальных рычагов
ТСП-72	g_{321} – затянут авторегулятор
ТСП-73	g_{322} – неправильная установка валиков тяг
ТСП-76	g_4 – затянут стояночный тормоз

Примем допущение, что наработки до перечисленных отказов имеют показательное распределение. Для получения параметра этого закона распределения λ_i воспользуемся его связью с параметром потока отказов ω_i в предположении о стационарности потока, его ординарности и отсутствии последствия:

$$\lambda_i = \omega_i = \frac{n_i}{N} \cdot \frac{1}{t}, \quad (4.25)$$

где λ_i – параметр закона распределения наработки до отказа до отказа i -го типа; ω_i – интенсивность потока отказов i -го типа; n_i – количество отказов i -го типа зафиксированных на ПТО за время t ; N – количество вагонов, проследовавших по гарантийному участку ПТО за время t ; t – период наблюдения (для рассматриваемого примера 1 месяц).

Получим его значение с помощью статистической информации ПТО Хабаровск и Находка.

Статистическая информация об отказах элементов тормозной системы, отремонтированных в составе поезда без отцепки вагона за 1 месяц по ПТО Хабаровск и Находка, приведены в таблице 4.8, с отцепкой и постановкой на специализированные ремонтные пути ПТО – в таблице 4.9.

Таблица 4.8 – Безотцепочные ремонты в период 31.10 – 30.11 2016 г.

№ п/п	Наименование отказа	Обозн.	Количество отказов		
			Хабаровск	Находка	Всего
1	Дутьё в головке рукавов	b_{11111}	102	8	110
2	Дутьё в рукаве	b_{11112}	681	14	697
3	Дутьё в концевом кране	b_{11113}	43	0	43
4	Дутьё в магистрали	b_{11114}	25	0	25
5	Дутьё по подводящей трубке	b_{11117}	55	0	55
6	Дутьё по ВР	b_{11118}	50	0	50
7	Нет пробки ТЦ	d_{142}	887	14	901
8	Неисправен ВР или не сработал ВР	d_{17}	40	6	46
9	Загрязнение сетчатого фильтра	e_2	134	0	134
10	Излом или износ колодок	f_{2111}	815	162	977

Таблица 4.9 – Отцепочные ремонты в период 31.10 – 30.11 2016 г.

№ п/п	Наименование отказа	Обозн.	Количество отказов		
			Хабаровск	Находка	Всего
1	Дутьё по разобшительному крану	b_{11116}	1	0	1
2	Дутьё по ЗР	b_{11119}	6	2	8
3	Обрыв подводящей трубки	d_{15}	10	6	16
4	Неисправен ВР или не сработал ВР	d_{17}	1	0	1
5	Завал рычагов	d_{25}	29	0	29

Расчётные значения параметра потока отказов сведены в таблицу 4.10.

Таблица 4.10 – Расчётное значение параметра потока отказов тормозного оборудования вагона

№ п/п	Наименование отказа	Количество			ω_i , 10^{-5} мес. ⁻¹
		без отцепки	с отцепкой	всего	
1	2	3	4	5	6
1	Концевой кран перекрыт	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
2	Пробка в магистрали	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
3	Сужение проходного сечения тормозной магистрали	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
4	Дутьё в головке рукавов	110	0	110	$3,99 \cdot 10^{-4}$
5	Дутьё в рукаве	697	0	697	$2,53 \cdot 10^{-3}$
6	Дутьё в концевом кране	43	0	43	$3,12 \cdot 10^{-4}$
7	Дутьё в магистрале	25	0	25	$1,81 \cdot 10^{-4}$
8	Дутьё по тройнику-кронштейну	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$

Продолжение таблицы 4.10

1	2	3	4	5	6
9	Дутьё по разобщительному крану	0	0	1	$7,25 \cdot 10^{-6}$
10	Дутьё по подводящей трубке	55	0	55	$3,99 \cdot 10^{-4}$
11	Дутьё по ВР	50	0	50	$3,62 \cdot 10^{-4}$
12	Дутьё по ЗР	0	8	8	$5,80 \cdot 10^{-5}$
13	Дутьё по фильтру	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
14	Перекрыт разобщительный кран	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
15	Воздух не проходит	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
16	Дутьё по штоку ТЦ	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
17	Нет пробки ТЦ	901	0	901	$6,53 \cdot 10^{-3}$
18	Обрыв подводящей трубки	0	16	16	$1,16 \cdot 10^{-4}$
19	Обрыв ЗР или выпускного клапана	0	0	7	$5,07 \cdot 10^{-5}$
20	Неисправен ВР или не сработал ВР	46	1	47	$3,41 \cdot 10^{-4}$
21	Выпадение валика рычажной передачи	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
22	Обрыв тяги	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
23	Обрыв авторегулятора	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
24	Излом рычагов	29	0	29	$2,10 \cdot 10^{-4}$
25	Завал рычагов	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
26	Излом триангеля	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
27	Ибрыв кронштейна мертвой точки	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
28	Разобщительный кран не полностью открыт	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
29	Загрязнение сетчатого фильтра	134	0	134	$9,71 \cdot 10^{-4}$
30	Задержка в работе ВР	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
31	Неисправен ВР	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
32	Утечки в ЗР	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
33	Утечки подводящих трубок	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
34	Неисправен авторежим	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
35	Неправильно установлен режим ВР	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
36	Излом или износ колодок	977	0	977	$8,85 \cdot 10^{-4}$
37	Неисправен авторегулятор	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
38	Неправильное соединение тяг (постановка валиков)	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
39	Неправильная установка затяжки горизонтальных рычагов	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
40	Затянут авторегулятор	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
41	Неправильная установка валиков тяг	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$
42	Затянут стояночный тормоз	0	0	0	$7,2 \cdot 10^{-7}$

При этом для отказов, входящих в модель аварийности вагона, но не зафиксированных в проведённом эксперименте, интенсивность была принята

меньше минимального наблюдаемого значения (равной $7,2 \cdot 10^{-7}$ мес.⁻¹). Таким образом, с учётом полученных значений (таблица 4.9) и выражения (2.16) можно получить математическое ожидание наработки вагона до столкновения или проезда поездом (состоящего из 60 вагонов) запрещающего сигнала по вине вагонного хозяйства. Его величина составит 14,9 мес.

Проведённый анализ случаев нарушений безопасности движения за последние 10 лет (таблица 4.11) показал, что из-за проезда поездом запрещающего сигнала или столкновения по причине отказа тормозной системы состава (вагонов) происходит в среднем один случай в год. Этот факт может косвенно подтверждать корректность полученного расчётного значения.

Таким образом, получены вероятностные модели отказов, входящих в расчётную схему безопасности грузовых вагонов. Уточнены параметры законов распределения наработок до появления трещин ответственных элементов (приводящих к сходу вагонов с рельсов) и интенсивности отказов элементов тормозной системы вагона (приводящих к столкновению или проезду поездом запрещающего сигнала светофора). Теперь всё готово к оценке периодичности глубоких диагностик вагона конкретного типа.

Таблица 4.11 – Анализ аварий и крушений на железнодорожном транспорте

Причины	Количество случаев по годам										
	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008
Сход из-за неисправности или ненадлежащего содержания пути (хозяйство пути)	25	25	24	17	17	4	12	13	19	22	29
Сход локомотива/электropоезда (лок. хозяйство)	5	2	7	6	3	2	1	2	3	2	1
Сход из-за неисправности вагона, в том числе:	35	25	39	34	44	48	38	38	37	30	26
неисправность тележки	15	4	5	6	9	2	0	1	0	0	0
излом боковины	3	2	8	4	14	24	17	18	24	12	8
излом надрессорной балки	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
излом колеса	1	1	0	1	1	2	1	0	1	1	1
излом шейки оси холодный и горячий	2	1	5	2	3	4	0	0	2	5	3
заклинивание подшипников букс	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
обрыв и падение автосцепки на путь	1	1	0	3	2	1	1	1	1	1	0
отсутствие зазоров в скользунах	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
остроконечный накат гребня колеса	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
неправильное крепление или развал груза	1	0	0	1	0	2	0	0	0	0	2
неисправность вагона	8	11	18	16	13	8	15	13	8	11	12
выжимание или др. случаи при движении	3	2	1	1	2	2	4	5	1	0	0
Прочие случаи схода подвижного состава	7	10	7	15	12	15	1	15	12	14	17
ВСЕГО СХОДОВ	72	62	77	72	76	69	52	68	71	68	73
Столкновения на переездах	7	4	0	4	1	1	5	3	0	1	0
Столкновения при маневрах	2	1	1	6	5	8	4	1	3	3	7
Проезд поездом запрещающего сигнала	2	2	1	2	2	3	3	1	2	0	3
среди них отказ тормозов состава	2	1	0	1	0	2	1	1	2	0	1
Проезд запрещающего сигнала ПРОЧИЕ СЛУЧАИ	7	8	4	7	9	5	3	8	7	4	8
Проезд запрещающего сигнала при манёврах	28	30	18	35	17	21	7	7	13	21	14
ВСЕГО СЛУЧАЕВ	118	107	101	126	110	107	74	88	96	97	105

4.6 Оценка параметра безопасности вагона

На основе эксплуатационной информации были получены точечные оценки t_i для всех основных отказов, входящих в древовидную модель безопасности вагона. Нарботки до отказов, входящих в древовидную модель аварийности вагона, описываются стареющими законами надежности. Для таких законов известно [60] следующее утверждение. Пусть ξ – наработка изделия до отказа, имеющая неизвестную для нас функцию распределения $F(t)$ и известное математическое ожидание T . Тогда справедлива нижняя оценка для неизвестной функции надёжности $p(t)$ при $t < T$

$$p(t) \geq e^{-\frac{t}{T}}. \quad (4.26)$$

Степень занижения истинной надёжности при такой замене можно проконтролировать с помощью неравенства А.Д. Соловьёва. Таким образом, предположение об экспоненциальности закона распределения наработки τ_i ($i=\overline{1,n}$) даёт право считать, что по формуле (4.5) будет получена верхняя оценка истинного (неизвестного нам) параметра безопасности $l_{БД}$.

Тогда с учётом этого воспользуемся результатами полученных ранее точечных оценок t_i (таблица 4.12).

Таким образом, максимально допустимый интервал между глубокими диагностиками вагона $l_{БД}$, в соответствии с (4.5) составит 12,9 мес. Также можно отметить, что в соответствии с полученными результатами большое влияние на уменьшение этой периодичности оказывает ненадёжность в эксплуатации боковин тележек, что подтверждается сетевой статистикой работы железнодорожного транспорта (таблицу 4.11).

Таблица 4.12 – Исходные данные для определения параметра $l_{БД}$

i	Наименование отказа	m_i	t_i , мес.	i	Наименование отказа	m_i	t_i , мес.
1	Трещины или излом боковины	4	101,57	25	Обрыв подводящей трубки	1	8625,75
2	Трещина или излом надрессорной балки	2	190,99	26	Обрыв ЗР или выпускного клапана	1	19716,0
3	Трещина/откол обода, гребня, диска колеса колесной пары	8	3858,15	27	Неисправен ВР или не сработал ВР	1	2936,43
4	Трещины в корпусе автосцепки	2	3046,49	28	Выпадение валика рычажной передачи	20	1380120
5	Трещины пятника	2	3831,92	29	Обрыв тяги	2	1380120
6	Трещина, излом шейки оси колёсной пары	4	5518,91	30	Обрыв авторегулятора	1	1380120
7	Трещины, излом тягового хомута	2	3046,49	31	Излом рычагов	6	4759,03
8	Концевой кран перекрыт	2	1380120	32	Завал рычагов	1	1380120
9	Пробка в магистрали	1	1380120	33	Излом триангеля	4	1380120
10	Сужение сечения тормозной магистрали	1	1380120	34	Ибрыв кронштейна мертвой точки	2	1380120
11	Дутье в головке рукавов	2	2509,31	35	Разобшительный кран не полностью открыт	1	1380120
12	Дутье в рукаве	2	396,02	36	Загрязнение сетчатого фильтра	1	1029,94
13	Дутье в концевом кране	2	3209,58	37	Задержка в работе ВР	1	1380120
14	Дутье в магистрали	1	5520,48	38	Неисправен ВР	1	1380120
15	Дутье по тройнику-кронштейну	1	1380120	39	Утечки в ЗР	1	1380120
16	Дутье по разобшительн. крану	1	138012	40	Утечки подводящих трубок	1	1380120
17	Дутье по подводящей трубке	1	2509,31	41	Неисправен авторежим	1	1380120
18	Дутье по ВР	1	2760,24	42	Неправильно установлен режим ВР	1	1380120
19	Дутье по ЗР	1	17251,5	43	Излом или износ колодок	8	1130,09
20	Дутье по фильтру	1	1380120	44	Неисправен авторегулятор	1	1380120
21	Перекрыт разобшительн. кран	1	1380120	45	Неправильное соединение тяг (постановка валиков)	1	1380120
22	Воздух не проходит	1	1380120	46	Неправильная установка затяжки горизонтальных рычагов	1	1380120
23	Дутье по штоку ТЦ	1	1380120	47	Затянут авторегулятор	1	1380120
24	Нет пробки ТЦ	1	153,18	48	Затянут стояночный тормоз	1	1380120

4.7 Определение протяжённости гарантийного участка пути

Для нахождения оптимальной периодичности проведения глубоких диагностик для вагона рассматриваемого типа сформируем исходные данные.

Периодичность проведения глубоких диагностик вагона рассматриваемого типа $l_{БД}$ с учётом отказов его тормозной системы получена в предыдущем разделе. Рассмотрим порядок формирования неслучайных параметров C и v сформированной оптимизационной задачи. При этом будем полагать, что параметры функционирования ПТО на всей сети железных дорог одинаковые.

Согласно финансовому отчёту компании ОАО «РЖД» [46] суммарные расходы на содержание ПТО по Дальневосточной дороге составляют:

$$S = 7,59 \text{ млн. руб./мес.}$$

В данном случае имеются в виду те ПТО, которые несут ответственность за безопасное проследование по гарантийному участку вагонов (между ПТО Хабаровск II и Находка).

Среднее количество вагонов, обслуженных на ПТО в течение месяца, составляет:

$$N = 69 \text{ тыс. ваг./мес.}$$

Тогда согласно выражению (3.6) затраты на однократный осмотр вагона на ПТО равны:

$$C = 0,16 \cdot \frac{7,59 \cdot 10^6}{69 \cdot 10^3} = 17,6 \text{ руб./ваг.} \quad (4.27)$$

Теперь получим величину усреднённых экономических потерь ЖДТ из-за пребывания грузового вагона в САС в течение единицы времени (или пробега вагона).

Величину ожидаемого ущерба от крушения поезда согласно приложению (приложение А) примем равными:

$$П = 226,7 \text{ млн. руб.}$$

Риск (вероятность) крушения поезда по вине ВХ за период времени, соответствующий $l_{БД}$ примем равным:

$$R = 0,0005.$$

Тогда значение v составит:

$$v = \frac{226,7 \cdot 10^6}{12,9} \cdot 0,0005 = 8,73 \text{ тыс. руб./мес.} \quad (4.28)$$

Приняв среднесуточный пробег вагона рассматриваемого типа $l_{CC}=200$ км можно получить усреднённые потери ЖДТ, приходящиеся на один километр пробега вагона, составят:

$$v_l = v / 30 / l_{CC} = 8,73 \cdot 10^3 / 30 / 200 = 1,46 \text{ руб./км.} \quad (4.29)$$

Эту величину можно считать действующей ставкой страхового сбора перемещения вагона рассматриваемого типа по сети железных дорог.

Относительно величины P – вероятности обнаружения, имеющегося на вагоне опасного повреждения можно отметить следующее. В настоящее время отсутствует система контроля этого показателя, характеризующего качество работы буквально каждого осмотрщика вагонов. Однако, как отмечено в работе [55] его значение можно принять на уровне $P=0,2$.

В соответствии с принятыми исходными данными (таблица 4.13) для вагона рассматриваемого типа расчётное значение параметра l_{cy} составит 312 км (таблица 4.14).

Таблица 4.13 – Исходные данные для расчёта гарантийного участка ПТО

№	Наименование параметра	Обознач.	Разм.	Значение.
1	Затраты на один контроль технического состояния вагона на ПТО	C	руб./ваг.	17,6
2	Средняя величина потерь от пребывания вагона в скрытом аварийном состоянии в единицу времени	v	тыс.руб./мес.	8,73
3	Вероятность обнаружения отказа осмотровиком ПТО	P	-	0,2
4	Максимальный интервал между глубокими диагностиками – параметр безопасности вагона	$l_{БД}$	мес.	12,98
5	Среднесуточный пробег вагона	l_{CC}	км/сут.	200

Таблица 4.14 – Результаты расчёта гарантийного участка ПТО

№	Наименование параметра	Значение
1	Дискриминант квадратного уравнения (3.29)	127667,78
2	Корень квадратного уравнения n^* (3.29)	249
3	Гарантийный участок ПТО $l_{гy}$, мес. (3.30)	0,052
4	Гарантийный участок ПТО, сут.	1,56
5	Гарантийный участок ПТО, км	312

Таким образом, с учётом отказов тормозного оборудования вагона рассматриваемого типа оптимальная величина гарантийного участка ПТО в настоящее время составит 312 км, что существенно ниже требуемого значения. Поэтому с помощью приведённой математической модели возможно исследовать, какие мероприятия нужно провести, чтобы повысить величину допустимого безостановочного пробега вагона в 5 раз, какие требования по надёжности и безопасности нужно закладывать при разработке инновационных вагонов для обеспечения безопасного следования поездов на увеличенных гарантийных участках ПТО.

4.8 Выводы по разделу 4

1) На основе проведённых экспериментов в соответствии со стандартным планом испытаний на надёжность получены точечные оценки теоретически обоснованных вероятностных моделей опасных отказов, входящих в разработанную расчётную схему аварийности, на примере вагонов конкретного типа (полувагонов).

2) С учётом уточнения неслучайных параметров оптимизационной задачи и в предположении отсутствия информации о качестве работы осмотрщиков вагонов на ПТО получены номограммы, позволяющие определять нижнюю оценку оптимальной периодичности контроля технического состояния грузовых вагонов (рассматриваемого типа) на ПТО в период между их глубокими диагностиками, выполняемыми при ремонте крупного объёма (деповском или капитальном).

3) В настоящее время для вагонов рассматриваемого типа при вероятности обнаружения имеющегося на вагоне опасного отказа $P=0,2$ гарантийный участок оказывается меньше требуемого, что повышает риск возникновения крушений и аварий на железнодорожном транспорте. С помощью разработанной методики и технологии получения вероятностных моделей целесообразно сформулировать мероприятия, направленные на повышение участков безостановочного движения поездов до требуемого уровня при безусловном обеспечении уровня безопасности движения.

5 РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ГАРАНТИЙНОГО УЧАСТКА ПТО

5.1 Повышение качества работы осматрщиков вагонов

Для разработки научно-обоснованных рекомендаций по повышению гарантийных участков ПТО вагонов рассматриваемого типа рассмотрим влияние отдельных параметров на оптимальное значение $l_{\text{гу}}$. Сначала определим резерв увеличения участка при уменьшении брака в работе осматрщиков вагонов $(1 - P)$. Результаты приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Зависимость $l_{\text{гу}}$ от вероятности брака работы осматрщиков

№	Вероятность обнаружения опасного отказа, P	Вероятность брака в работе осматрщиков, $(1 - P)$	$l_{\text{БД}}$, мес.	C , руб./ваг.	$l_{\text{гу}}$, км
1	0,2	0,8	12,98	17,6	312,47
2	0,25	0,75	12,98	17,6	348,51
3	0,3	0,7	12,98	17,6	381,09
4	0,35	0,65	12,98	17,6	411,04
5	0,4	0,6	12,98	17,6	438,91
6	0,45	0,55	12,98	17,6	465,07
7	0,5	0,5	12,98	17,6	489,81
8	0,55	0,45	12,98	17,6	513,33
9	0,6	0,4	12,98	17,6	535,8
10	0,65	0,35	12,98	17,6	557,35
11	0,7	0,3	12,98	17,6	578,08
12	0,75	0,25	12,98	17,6	598,07
13	0,8	0,2	12,98	17,6	617,41
14	0,85	0,15	12,98	17,6	636,14
15	0,9	0,1	12,98	17,6	654,32
16	0,95	0,05	12,98	17,6	672,01

Так, если снизить вероятность брака в работе осматрщиков вагонов до 0,05, то периодичность контролей технического состояния можно повысить до 672 км, т.е. почти в два раза.

Однако такой вывод не совсем корректен по двум причинам. Во-первых, при отсутствии в настоящее время действующей системы контроля этого показателя на железнодорожном транспорте невозможно установить его текущее значение и осуществлять его целенаправленное изменение.

В работе [63] предложены методологические основы и технология работы отраслевой автоматизированной системы контроля этого показателя.

Во-вторых, для повышения качества работы осмотрщиков вагонов потребуется повышение их квалификации, проведение дополнительной профессиональной подготовки, разработка и внедрение технических средств обнаружения опасных отказов вагонов. Это одновременно приведёт к росту затрат на заработную плату и содержание ПТО, поэтому при увеличении параметра P можно ожидать роста параметра C . В связи с этим выполним оценку влияния сразу двух параметров на величину гарантийного участка ПТО, т.е. зависимости $l_{гв}(C)$ и $l_{гв}(P)$. В таблицах 5.2 – 5.10 приведены результаты расчётов зависимости протяжённости гарантийного участка ПТО $l_{гв}$ от себестоимости однократного технического осмотра вагона C при различных значениях P . Результаты представлены на рисунке (рисунок 5.1).

Таким образом, для того, чтобы увеличить гарантийные участки ПТО для существующих конструкций (с достигнутыми показателями безопасности), требуются дополнительные расходы на обеспечение повышения качества работы ПТО, например, за счёт мероприятий перечисленных выше.

Таблица 5.2 –Расчётные значения $l_{гв}$ при $P=0,2$

№	Π , млн.руб.	R	$l_{БД}$, мес.	C , руб./ваг.	n^*	$l_{гв}$, км
1	226,7	0,0005	12,98	4	528	147,6
2	226,7	0,0005	12,98	8	372	209,5
3	226,7	0,0005	12,98	12	303	257,3
4	226,7	0,0005	12,98	16	262	297,9
5	226,7	0,0005	12,98	20	234	333,7
6	226,7	0,0005	12,98	24	213	366,3
7	226,7	0,0005	12,98	28	197	396,3
8	226,7	0,0005	12,98	32	184	424,4
9	226,7	0,0005	12,98	36	173	450,8
10	226,7	0,0005	12,98	40	164	475,9
11	226,7	0,0005	12,98	44	156	499,8
12	226,7	0,0005	12,98	48	149	522,7
13	226,7	0,0005	12,98	52	143	544,8
14	226,7	0,0005	12,98	56	138	566,0
15	226,7	0,0005	12,98	60	133	586,6
16	226,7	0,0005	12,98	64	128	606,5
17	226,7	0,0005	12,98	68	125	625,9
18	226,7	0,0005	12,98	72	121	644,8
19	226,7	0,0005	12,98	76	118	663,2
20	226,7	0,0005	12,98	80	114	681,1

Таблица 5.3 –Расчётные значения $l_{гв}$ при $P=0,3$

№	Π , млн.руб.	R	$l_{БД}$, мес.	C , руб./ваг.	n^*	$l_{гв}$, км
1	226,7	0,0005	12,98	4	432	180,5
2	226,7	0,0005	12,98	8	305	255,9
3	226,7	0,0005	12,98	12	248	314,1
4	226,7	0,0005	12,98	16	214	363,4
5	226,7	0,0005	12,98	20	192	406,9
6	226,7	0,0005	12,98	24	175	446,4
7	226,7	0,0005	12,98	28	161	482,8
8	226,7	0,0005	12,98	32	151	516,8
9	226,7	0,0005	12,98	36	142	548,8
10	226,7	0,0005	12,98	40	135	579,1
11	226,7	0,0005	12,98	44	128	608,0
12	226,7	0,0005	12,98	48	123	635,7
13	226,7	0,0005	12,98	52	118	662,3
14	226,7	0,0005	12,98	56	113	687,9
15	226,7	0,0005	12,98	60	109	712,7
16	226,7	0,0005	12,98	64	106	736,8
17	226,7	0,0005	12,98	68	103	760,1
18	226,7	0,0005	12,98	72	100	782,8
19	226,7	0,0005	12,98	76	97	804,9
20	226,7	0,0005	12,98	80	94	826,5

Таблица 5.4 –Расчётные значения $l_{гв}$ при $P=0,4$

№	Π , млн.руб.	R	$l_{БД}$, мес.	C , руб./ваг.	n^*	$l_{гв}$, км
1	226,7	0,0005	12,98	4	374	208,1
2	226,7	0,0005	12,98	8	264	295,0
3	226,7	0,0005	12,98	12	215	361,9
4	226,7	0,0005	12,98	16	186	418,5
5	226,7	0,0005	12,98	20	166	468,5
6	226,7	0,0005	12,98	24	152	513,9
7	226,7	0,0005	12,98	28	140	555,6
8	226,7	0,0005	12,98	32	131	594,6
9	226,7	0,0005	12,98	36	123	631,3
10	226,7	0,0005	12,98	40	117	666,0
11	226,7	0,0005	12,98	44	111	699,1
12	226,7	0,0005	12,98	48	107	730,8
13	226,7	0,0005	12,98	52	102	761,3
14	226,7	0,0005	12,98	56	99	790,6
15	226,7	0,0005	12,98	60	95	819,0
16	226,7	0,0005	12,98	64	92	846,5
17	226,7	0,0005	12,98	68	89	873,1
18	226,7	0,0005	12,98	72	87	899,0
19	226,7	0,0005	12,98	76	84	924,3
20	226,7	0,0005	12,98	80	82	948,9

Таблица 5.5 –Расчётные значения $l_{гв}$ при $P=0,5$

№	Π , млн.руб.	R	$l_{БД}$, мес.	C , руб./ваг.	n^*	$l_{гв}$, км
1	226,7	0,0005	12,98	4	335	232,5
2	226,7	0,0005	12,98	8	237	329,4
3	226,7	0,0005	12,98	12	193	404,0
4	226,7	0,0005	12,98	16	167	467,1
5	226,7	0,0005	12,98	20	149	522,8
6	226,7	0,0005	12,98	24	136	573,3
7	226,7	0,0005	12,98	28	126	619,8
8	226,7	0,0005	12,98	32	118	663,1
9	226,7	0,0005	12,98	36	111	703,9
10	226,7	0,0005	12,98	40	105	742,6
11	226,7	0,0005	12,98	44	100	779,4
12	226,7	0,0005	12,98	48	96	814,6
13	226,7	0,0005	12,98	52	92	848,4
14	226,7	0,0005	12,98	56	88	881,0
15	226,7	0,0005	12,98	60	85	912,5
16	226,7	0,0005	12,98	64	83	943,0
17	226,7	0,0005	12,98	68	80	972,6
18	226,7	0,0005	12,98	72	78	1001,3
19	226,7	0,0005	12,98	76	76	1029,3
20	226,7	0,0005	12,98	80	74	1056,7

Таблица 5.6 –Расчётные значения l_{cy} при $P=0,6$

№	Π , млн.руб.	R	$l_{БД}$, мес.	C , руб./ваг.	n^*	l_{cy} , км
1	226,7	0,0005	12,98	4	306	254,5
2	226,7	0,0005	12,98	8	216	360,5
3	226,7	0,0005	12,98	12	176	442,1
4	226,7	0,0005	12,98	16	152	511,0
5	226,7	0,0005	12,98	20	136	571,8
6	226,7	0,0005	12,98	24	124	627,0
7	226,7	0,0005	12,98	28	115	677,7
8	226,7	0,0005	12,98	32	107	725,0
9	226,7	0,0005	12,98	36	101	769,5
10	226,7	0,0005	12,98	40	96	811,7
11	226,7	0,0005	12,98	44	91	851,8
12	226,7	0,0005	12,98	48	88	890,2
13	226,7	0,0005	12,98	52	84	927,1
14	226,7	0,0005	12,98	56	81	962,6
15	226,7	0,0005	12,98	60	78	996,9
16	226,7	0,0005	12,98	64	76	1030,2
17	226,7	0,0005	12,98	68	73	1062,4
18	226,7	0,0005	12,98	72	71	1093,7
19	226,7	0,0005	12,98	76	69	1124,2
20	226,7	0,0005	12,98	80	68	1154,0

Таблица 5.7 –Расчётные значения l_{cy} при $P=0,7$

№	Π , млн.руб.	R	$l_{БД}$, мес.	C , руб./ваг.	n^*	l_{cy} , км
1	226,7	0,0005	12,98	4	284	274,8
2	226,7	0,0005	12,98	8	200	389,1
3	226,7	0,0005	12,98	12	163	477,1
4	226,7	0,0005	12,98	16	141	551,4
5	226,7	0,0005	12,98	20	126	616,9
6	226,7	0,0005	12,98	24	115	676,3
7	226,7	0,0005	12,98	28	107	731,0
8	226,7	0,0005	12,98	32	100	781,9
9	226,7	0,0005	12,98	36	94	829,8
10	226,7	0,0005	12,98	40	89	875,2
11	226,7	0,0005	12,98	44	85	918,4
12	226,7	0,0005	12,98	48	81	959,7
13	226,7	0,0005	12,98	52	78	999,4
14	226,7	0,0005	12,98	56	75	1037,6
15	226,7	0,0005	12,98	60	73	1074,5
16	226,7	0,0005	12,98	64	70	1110,3
17	226,7	0,0005	12,98	68	68	1144,9
18	226,7	0,0005	12,98	72	66	1178,6
19	226,7	0,0005	12,98	76	64	1211,4
20	226,7	0,0005	12,98	80	63	1243,4

Таблица 5.8 –Расчётные значения $l_{гв}$ при $P=0,8$

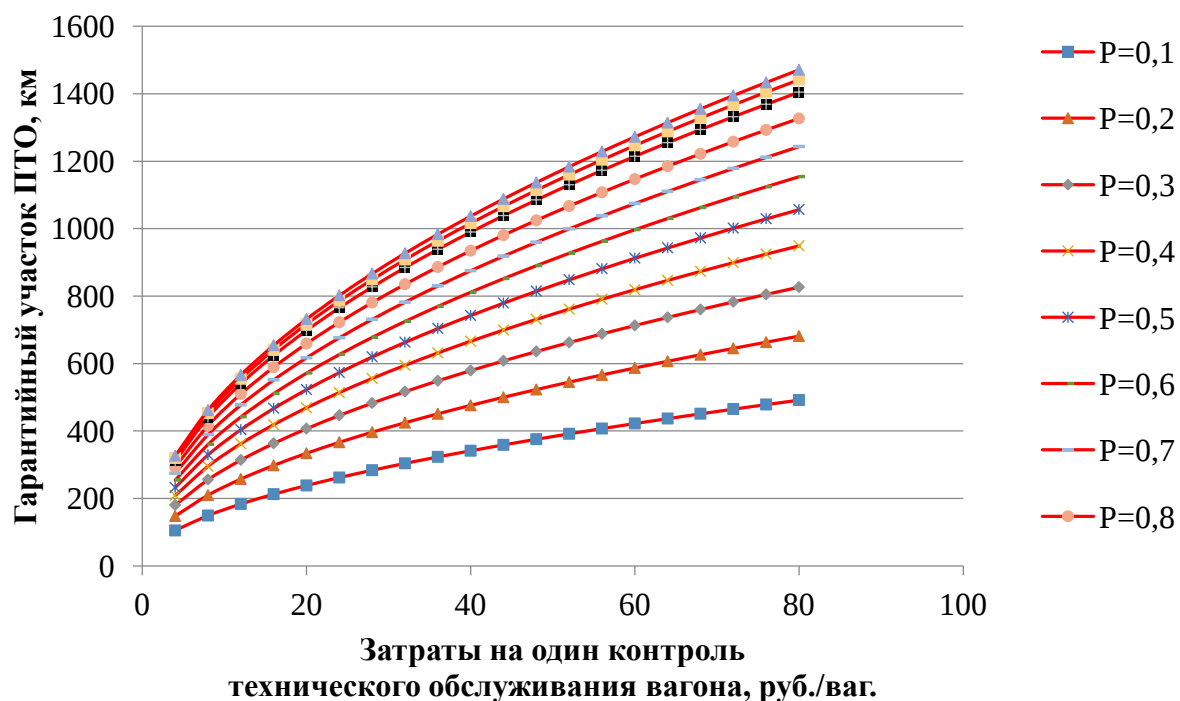
№	Π , млн.руб.	R	$l_{БД}$, мес.	C , руб./ваг.	n^*	$l_{гв}$, км
1	226,7	0,0005	12,98	4	265	293,6
2	226,7	0,0005	12,98	8	187	415,7
3	226,7	0,0005	12,98	12	153	509,6
4	226,7	0,0005	12,98	16	132	588,9
5	226,7	0,0005	12,98	20	118	658,8
6	226,7	0,0005	12,98	24	108	722,2
7	226,7	0,0005	12,98	28	100	780,5
8	226,7	0,0005	12,98	32	93	834,8
9	226,7	0,0005	12,98	36	88	885,9
10	226,7	0,0005	12,98	40	83	934,3
11	226,7	0,0005	12,98	44	79	980,3
12	226,7	0,0005	12,98	48	76	1024,4
13	226,7	0,0005	12,98	52	73	1066,7
14	226,7	0,0005	12,98	56	70	1107,4
15	226,7	0,0005	12,98	60	68	1146,7
16	226,7	0,0005	12,98	64	66	1184,7
17	226,7	0,0005	12,98	68	64	1221,7
18	226,7	0,0005	12,98	72	62	1257,5
19	226,7	0,0005	12,98	76	60	1292,4
20	226,7	0,0005	12,98	80	59	1326,5

Таблица 5.9 –Расчётные значения $l_{гв}$ при $P=0,9$

№	Π , млн.руб.	R	$l_{БД}$, мес.	C , руб./ваг.	n^*	$l_{гв}$, км
1	226,7	0,0005	12,98	4	250	311,3
2	226,7	0,0005	12,98	8	177	440,7
3	226,7	0,0005	12,98	12	144	540,1
4	226,7	0,0005	12,98	16	125	624,1
5	226,7	0,0005	12,98	20	112	698,2
6	226,7	0,0005	12,98	24	102	765,3
7	226,7	0,0005	12,98	28	94	827,0
8	226,7	0,0005	12,98	32	88	884,5
9	226,7	0,0005	12,98	36	83	938,6
10	226,7	0,0005	12,98	40	79	989,7
11	226,7	0,0005	12,98	44	75	1038,5
12	226,7	0,0005	12,98	48	72	1085,0
13	226,7	0,0005	12,98	52	69	1129,8
14	226,7	0,0005	12,98	56	66	1172,8
15	226,7	0,0005	12,98	60	64	1214,4
16	226,7	0,0005	12,98	64	62	1254,6
17	226,7	0,0005	12,98	68	60	1293,7
18	226,7	0,0005	12,98	72	59	1331,6
19	226,7	0,0005	12,98	76	57	1368,5
20	226,7	0,0005	12,98	80	55	1404,5

Таблица 5.10 – Расчётные значения $l_{гв}$ при $P=0,95$

№	Π , млн.руб.	R	$l_{БД}$, мес.	C , руб./ваг.	n^*	$l_{гв}$, км
1	226,7	0,0005	12,98	4	244	319,8
2	226,7	0,0005	12,98	8	172	452,6
3	226,7	0,0005	12,98	12	140	554,8
4	226,7	0,0005	12,98	16	122	641,0
5	226,7	0,0005	12,98	20	109	717,1
6	226,7	0,0005	12,98	24	99	785,9
7	226,7	0,0005	12,98	28	92	849,3
8	226,7	0,0005	12,98	32	86	908,3
9	226,7	0,0005	12,98	36	81	963,8
10	226,7	0,0005	12,98	40	77	1016,3
11	226,7	0,0005	12,98	44	73	1066,3
12	226,7	0,0005	12,98	48	70	1114,1
13	226,7	0,0005	12,98	52	67	1160,0
14	226,7	0,0005	12,98	56	65	1204,2
15	226,7	0,0005	12,98	60	63	1246,8
16	226,7	0,0005	12,98	64	60	1288,1
17	226,7	0,0005	12,98	68	59	1328,1
18	226,7	0,0005	12,98	72	57	1367,0
19	226,7	0,0005	12,98	76	55	1404,9
20	226,7	0,0005	12,98	80	54	1441,8

Рисунок 5.1 – Зависимость $l_{гв}$ от показателей работы ПТО

5.2 Повышение квалификации осмотровщиков вагонов

В настоящее время на железнодорожном транспорте специалистам, выполняющим функцию своевременного обнаружения отказов вагонных конструкций, присваивают квалификационные разряды [44]:

- осмотровщик-ремонтник 4 разряда. Это специалист, имеющий разрешение к выполнению работ по техническому обслуживанию и безотцепочному ремонту вагонов на ПТО вагонов, расположенных на путях общего и необщего пользования промежуточных железнодорожных станций, при техническом обслуживании контейнеров на контейнерных площадках;

- осмотровщик-ремонтник 5 разряда. Это специалист, имеющий разрешение к выполнению работ по техническому обслуживанию и безотцепочному ремонту вагонов на ППВ к перевозкам, ПТО вагонов, расположенных на грузовых, участковых и промежуточных железнодорожных станциях V - III классов;

- осмотровщик-ремонтник 6 разряда. Это специалист, имеющий разрешение к выполнению работ по техническому обслуживанию и безотцепочному ремонту вагонов на ППВ, ПТО грузовых вагонов и пассажирских вагонов транзитных поездов, расположенных на грузовых, сортировочных и участковых железнодорожных станциях II - I классов;

- осмотровщик-ремонтник 7 разряда. Это специалист, имеющий разрешение к выполнению работ по техническому обслуживанию, устранению неисправностей перед погрузкой и при ревизии пневматической и механической систем разгрузки вагонов с целью выявления неисправностей, угрожающих безопасности движения на ПТО, расположенных на участковых, сортировочных, межгосударственных железнодорожных станциях, пограничных контрольных постах, внеклассных пассажирских железнодорожных станциях, пунктах перестановки грузовых и пассажирских поездов и допуск к выполнению работ по техническому

обслуживанию и безотцепочному ремонту вагонов в ПТО пассажирских поездов станций формирования и оборота.

В зависимости от разряда изменяется и ставка (размер оплаты труда) по единой тарифной сетке.

При этом в соответствии с профессиональным стандартом уровень квалификации осматрщиков вагонов считается зависимым от опыта работы специалиста в должности осматрщика вагонов и/или слесаря по ремонту подвижного состава, т.е. стаж. Для повышения разряда по достижении определённого стажа предусмотрено обучение по программе повышения квалификации. Однако стаж работы является необходимым, но не достаточным условием для оценки уровня квалификации осматрщиков вагонов. Невозможно управлять эффективностью работы железнодорожного транспорта, безопасностью движения, не имея в распоряжении измеряемого количественного показателя качества исполнения осматрщиком вагонов своих функций (т.е. показателя своевременности обнаружения опасных отказов вагонных конструкций).

Возникает вопрос, каким образом оценить эффективность работы каждого осматрщика вагонов? В качестве такого показателя можно использовать вероятность брака в работе осматрщиков вагонов. Под ней понимается вероятность того, что имеющийся на вагоне отказ не будет обнаружен на ПТО осматрщиком вагонов. Как ранее отмечалось, это показатель $(1-P)$, где P – вероятность обнаружения, имеющегося на вагоне опасного повреждения. Нетрудно представить, что чем выше квалификация осматрщика и оплата труда, тем выше должен быть уровень качества его работы. Показать влияние уровня квалификации практически каждого осматрщика вагонов на безопасность движения и период безостановочного движения поездов можно с помощью приведённой методики.

Предположим, что с повышением уровня квалификации осматрщиков не только повышается размер оплаты труда (стоимость однократного осмотра вагона на ПТО), но и снижается вероятность брака в его работе.

Можно предположить, что специалисты с малым опытом работы – осматрщики-ремонтники 4 разряда имеют показатель качества работы ($1-P$) в интервале 0,1-0,5, осматрщики-ремонтники 5 разряда – в интервале 0,4-0,8, осматрщики-ремонтники 6 и 7 разряда – в интервале 0,6-0,9.

Тогда можно показать, что чем выше квалификация осматрщиков вагонов на ПТО, тем большим может быть величина гарантийного участка, при безусловном сохранении требуемого уровня безопасности движения поездов. Результаты приведены в таблицах 5.11 – 5.13.

Таблица 5.11 – Зависимость гарантийного участка ПТО от качества работы осматрщика-ремонтника 4-го разряда, км

№	C, руб./ваг.	Качество работы осматрщика				
		$P=0,1$	$P=0,2$	$P=0,3$	$P=0,4$	$P=0,5$
1	12	183	257	314	362	
2	12,5	187	263	321	369	
3	13	191	268	327	377	
4	13,5	195	273	333	384	429
5	14	198	278	340	391	437
6	14,5	202	283	346	398	444
7	15	206	288	352	405	452
8	15,5	209	293	358	412	460
9	16	212	298	363	419	467
10	16,5		303	369	425	474
11	17		307	375	432	482
12	17,5			380	438	489
13	18			386	444	496
14	18,5				450	503
15	19				457	509

Таблица 5.12 – Зависимость гарантийного участка ПТО от качества работы осматрщика-ремонтника 5-го разряда, км

№	С, руб./ваг.	Качество работы осматрщика				
		$P=0,4$	$P=0,5$	$P=0,6$	$P=0,7$	$P=0,8$
1	13,5	384	429			
2	14	391	437			
3	14,5	398	444			
4	15	405	452	495		
5	15,5	412	460	503		
6	16	419	467	511		
7	16,5	425	474	519	560	
8	17	432	482	527	568	
9	17,5	438	489	535	577	
10	18	444	496	542	585	625
11	18,5	450	503	550	593	634
12	19	457	509	557	601	642
13	19,5		516	565	609	651
14	20		523	572	617	659
15	20,5		529	579	625	667
16	21			586	632	675
17	21,5			593	640	683
18	22			600	647	691
19	22,5				655	699
20	23				662	707
21	23,5				669	715
22	24					722
23	24,5					730
24	25					737

Как видно, с помощью показателя $(1-P)$ возможно не только оценить качество работы осматрщиков вагонов, но также оценивать, на сколько эффективно организованы курсы повышения квалификации при подготовке осматрщиков, на сколько сформированы навыки осмотра вагонов.

Стоит отметить, что в настоящее время система оценки эффективности работы осматрщиков вагонов на железнодорожном транспорте отсутствует. Разработка принципов её функционирования – это задача отдельного исследования. В работе [62] предложена отраслевая автоматизированная система контроля этого показателя.

Таблица 5.13 – Зависимость гарантийного участка ПТО от качества работы осматрщика-ремонтника 6-го разряда, км

№	С, руб./ваг.	Качество работы осматрщика		
		$P=0,7$	$P=0,8$	$P=0,9$
1	13,5	585	625	
2	14	593	634	
3	14,5	601	642	
4	15	609	651	689
5	15,5	617	659	698
6	16	625	667	707
7	16,5	632	675	716
8	17	640	683	724
9	17,5	647	691	732
10	18	655	699	741
11	18,5	662	707	749
12	19	669	715	757
13	19,5		722	765
14	20		730	773
15	20,5		737	781

Без повышения квалификации осматрщиков и соответствующего размера материального стимулирования, увеличивать гарантийные участки ПТО для существующего парка вагонов при сохранении уровня безопасности движения не представляется возможным.

Стоит отметить, что при существующем уровне контролепригодности опасных отказов вагонов в условиях текущего технического содержания, показатель вероятности обнаружения опасного отказа имеет некоторое предельное значение, а, следовательно, имеет свой предел и эффективность мероприятий, связанных с повышением квалификации осматрщиков-ремонтников вагонов, т.е. ограничен эффект только за счёт изменений работы ПТО. Задача повышения l_{2y} – является комплексной (системной) и касается качества исполнения всех функций, возложенных на вагонный комплекс (вагонное хозяйство). Оценим влияние на рассматриваемый показатель качества выполнения ремонтов крупного объёма.

5.3 Повышение качества плановых ремонтов

Рассмотрим задачу оценки гарантийного участка ПТО в условиях повышения качества проведения плановых ремонтов.

В настоящее время на железнодорожном транспорте периодичность проведения ремонтов крупного объёма (деповских и капитальных) назначают директивно [47]. Вагоностроительные заводы для повышения конкурентоспособности собственной продукции устанавливают повышенные межремонтные пробеги до первого деповского ремонта после постройки вагона.

Периодичность постановки вагона в плановый ремонт производится при достижении следующих межремонтных пробегов:

- после постройки 210 тыс. км;
- после деповского ремонта 110 тыс. км;
- после капитального ремонта 160 тыс. км;
- для вагонов на новых тележках 500 тыс. км.

Однако, как показывает статистическая информация, вагоностроительные заводы и вагоноремонтные предприятия, выполняющие деповской или капитальный ремонты, не могут гарантировать безотказную работу вагона в период до проведения следующего планового ремонта. Аналогичная проблема существует и относительно опасных отказов, выявление которых в процессе эксплуатации вагона в настоящее время на сто процентов возможно только с помощью глубокой диагностики, выполняемой при плановом ремонте. Расчётное значение периодичности проведения глубокой диагностики вагона рассматриваемого типа с учётом тормозной системы поезда составляет $l_{БД}=12,98$ мес., что соответствует межремонтному пробегу 77,87 тыс. км.

В работе [16] приведена методика оптимизации параметров системы ремонта и нормативного срока службы грузового вагона рассматриваемого

типа, в которой при назначении межремонтного периода принимается во внимание значение параметра безопасности.

Предположим, что качество работы предприятий соответствует заложенным межремонтным периодам, т.е. периодичность проведения глубоких диагностик равна установленным межремонтным нормативам. В таблицах 5.14 – 5.22 приведены полученные результаты расчёта зависимости протяжённости гарантийного участка ПТО $l_{г\gamma}$ от величины гарантийного межремонтного пробега при различных значениях P .

Таблица 5.14 – Зависимость $l_{г\gamma}$ от качества ремонта вагонов при $P=0,2$

№	Π , тыс.руб.	R	$l_{БД}$, км	$l_{СС}$, км/сут.	C , руб./ваг.	n^*	$l_{г\gamma}$, км
1	226,7	0,0005	77928	200	17,60	249	312,7
2	226,7	0,0005	110000	200	17,60	249	441,4
3	226,7	0,0005	160000	200	17,60	249	642,1
4	226,7	0,0005	210000	200	17,60	249	842,7
5	226,7	0,0005	500000	200	17,60	249	2006,4

Таблица 5.15 – Зависимость $l_{г\gamma}$ от качества ремонта вагонов при $P=0,3$

№	Π , тыс.руб.	R	$l_{БД}$, км	$l_{СС}$, км/сут.	C , руб./ваг.	n^*	$l_{г\gamma}$, км
1	226,7	0,0005	77928	200	17,60	204	381,4
2	226,7	0,0005	110000	200	17,60	204	538,4
3	226,7	0,0005	160000	200	17,60	204	783,1
4	226,7	0,0005	210000	200	17,60	204	1027,8
5	226,7	0,0005	500000	200	17,60	204	2447,1

Таблица 5.16 – Зависимость $l_{г\gamma}$ от качества ремонта вагонов при $P=0,4$

№	Π , тыс.руб.	R	$l_{БД}$, км	$l_{СС}$, км/сут.	C , руб./ваг.	n^*	$l_{г\gamma}$, км
1	226,7	0,0005	77928	200	17,60	177	439,2
2	226,7	0,0005	110000	200	17,60	177	620,0
3	226,7	0,0005	160000	200	17,60	177	901,9
4	226,7	0,0005	210000	200	17,60	177	1183,7
5	226,7	0,0005	500000	200	17,60	177	2818,3

Таблица 5.17 – Зависимость $l_{г\gamma}$ от качества ремонта вагонов при $P=0,5$

№	Π , тыс.руб.	R	$l_{БД}$, км	$l_{СС}$, км/сут.	C , руб./ваг.	n^*	$l_{г\gamma}$, км
1	226,7	0,0005	77928	200	17,60	159	490,2
2	226,7	0,0005	110000	200	17,60	159	691,9
3	226,7	0,0005	160000	200	17,60	159	1006,5
4	226,7	0,0005	210000	200	17,60	159	1321,0
5	226,7	0,0005	500000	200	17,60	159	3145,2

Таблица 5.18 – Зависимость l_{Σ} от качества ремонта вагонов при $P=0,6$

№	Π , тыс.руб.	R	$l_{БД}$, км	$l_{сс}$, км/сут.	C , руб./ваг.	n^*	l_{Σ} , км
1	226,7	0,0005	77928	200	17,60	145	536,2
2	226,7	0,0005	110000	200	17,60	145	756,9
3	226,7	0,0005	160000	200	17,60	145	1101,0
4	226,7	0,0005	210000	200	17,60	145	1445,0
5	226,7	0,0005	500000	200	17,60	145	3440,5

Таблица 5.19 – Зависимость l_{Σ} от качества ремонта вагонов при $P=0,7$

№	Π , тыс.руб.	R	$l_{БД}$, км	$l_{сс}$, км/сут.	C , руб./ваг.	n^*	l_{Σ} , км
1	226,7	0,0005	77928	200	17,60	135	578,5
2	226,7	0,0005	110000	200	17,60	135	816,6
3	226,7	0,0005	160000	200	17,60	135	1187,8
4	226,7	0,0005	210000	200	17,60	135	1559,0
5	226,7	0,0005	500000	200	17,60	135	3712,0

Таблица 5.20 – Зависимость l_{Σ} от качества ремонта вагонов при $P=0,8$

№	Π , тыс.руб.	R	$l_{БД}$, км	$l_{сс}$, км/сут.	C , руб./ваг.	n^*	l_{Σ} , км
1	226,7	0,0005	77928	200	17,60	126	617,9
2	226,7	0,0005	110000	200	17,60	126	872,2
3	226,7	0,0005	160000	200	17,60	126	1268,6
4	226,7	0,0005	210000	200	17,60	126	1665,1
5	226,7	0,0005	500000	200	17,60	126	3964,5

Таблица 5.21 – Зависимость l_{Σ} от качества ремонта вагонов при $P=0,9$

№	Π , тыс.руб.	R	$l_{БД}$, км	$l_{сс}$, км/сут.	C , руб./ваг.	n^*	l_{Σ} , км
1	226,7	0,0005	77928	200	17,60	119	654,8
2	226,7	0,0005	110000	200	17,60	119	924,3
3	226,7	0,0005	160000	200	17,60	119	1344,5
4	226,7	0,0005	210000	200	17,60	119	1764,7
5	226,7	0,0005	500000	200	17,60	119	4201,6

Таблица 5.22 – Зависимость l_{Σ} от качества ремонта вагонов при $P=0,95$

№	Π , тыс.руб.	R	$l_{БД}$, км	$l_{сс}$, км/сут.	C , руб./ваг.	n^*	l_{Σ} , км
1	226,7	0,0005	77928	200	17,60	114	686,4
2	226,7	0,0005	110000	200	17,60	114	968,8
3	226,7	0,0005	160000	200	17,60	114	1409,2
4	226,7	0,0005	210000	200	17,60	114	1849,6
5	226,7	0,0005	500000	200	17,60	114	4403,8

На основе результатов, приведённых в таблицах 5.14 – 5.22, построена зависимость l_{Σ} при качественной работе вагоноремонтных и вагоностроительных предприятий (рисунок 5.2).

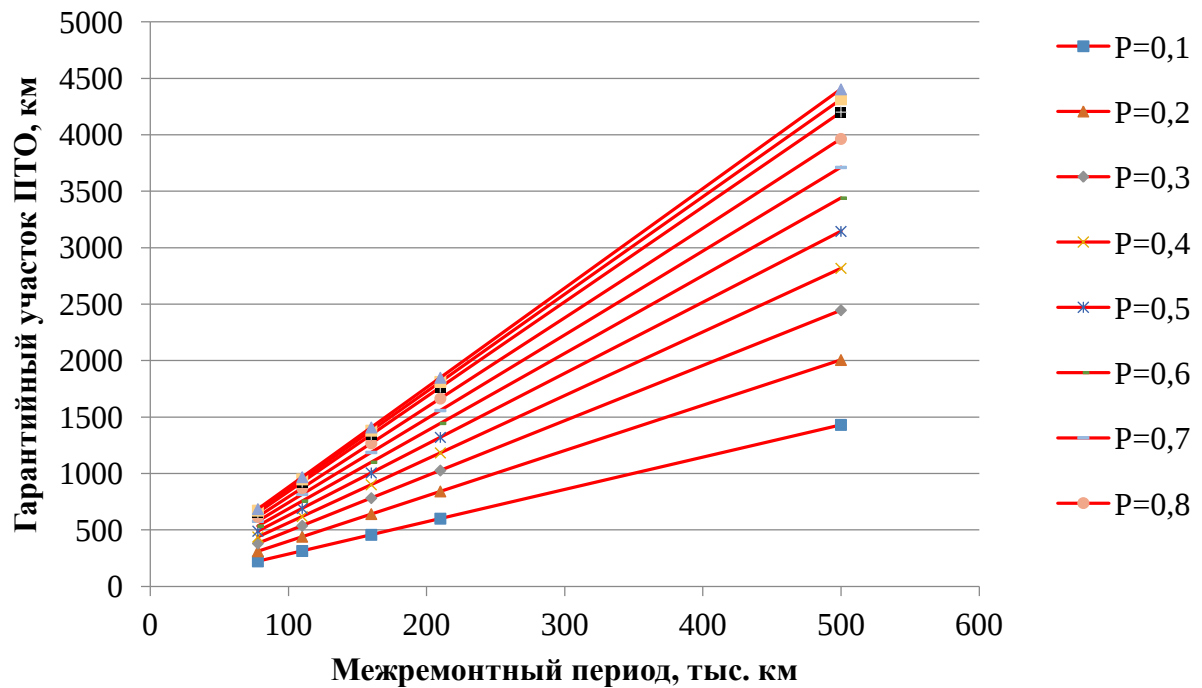


Рисунок 5.2 – Гарантийные участки ПТО при качественной работе вагоноремонтных компаний

Таким образом, увеличение гарантийных участков ПТО является не только задачей для эксплуатационных вагонных депо (ПТО). Их величина во многом зависит от качества работы вагоноремонтных компаний и заводоизготовителей. Так, если ремонтные предприятия обеспечивали бы периодичность между проведением глубоких диагностик вагону рассматриваемого типа на уровне заложенного норматива 110 тыс. км, то при существующем уровне качества работы осмотрщиков вагонов гарантийный участок можно было увеличить на 30 %.

5.4 Повышение надёжности ответственных элементов вагонных конструкций

На величину гарантийных участков ПТО влияет не только показатели работы ПТО и вагоноремонтных депо, но и показатели надёжности вагонных

конструкций. Так уровни контроле- и ремонтпригодности при текущем техническом содержании вагона непосредственно связаны с показателем вероятности обнаружения, имеющегося на вагоне опасного повреждения. А показатель безотказности определяет необходимость проведения контролей технического состояния в вагонных депо и на ПТО.

Как видно в настоящее время для вагона рассматриваемого типа, наименьший показатель надёжности из всех ответственных за безопасность движения элементов у боковины тележки. Наличие этой проблемы подтверждается приведённым ранее анализом случаев нарушения безопасности движения.

Так на рисунке 5.3 приведены номограммы зависимости гарантийного участка ПТО от средней наработки до отказа боковины тележки грузового вагона при различных уровнях качества работы осматривщиков вагонов.

Как видно из рисунка, максимальный эффект на увеличение гарантийного участка ПТО будет получен при повышении надёжности боковины в 7 раз (со 100 до 700 мес.). Дальнейшее повышение не будет давать такого эффекта, поскольку в системе вагона лимитирующим окажется уже другой элемент, повышение надёжности которого будет оказывать более весомое влияние на величину гарантийного участка для вагона рассматриваемого типа.

С помощью приведённой методики можно сформулировать требования к уровню надёжности основных элементов вагонных конструкций, а также к показателям безопасности инновационных и вновь проектируемых вагонов.

Таким образом, повышение эффективности работы железнодорожного транспорта за счёт увеличения безостановочного движения поездов является системной задачей. Её успешное выполнение зависит и от эксплуатационных предприятий, вагоноремонтных компаний, производителей. Наибольший эффект увеличения гарантийных участков ПТО можно получить за счёт повышения показателя надёжности ответственных элементов, входящих в модель аварийности грузового вагона (в рассматриваемом примере для

вагонов рассматриваемого типа это, прежде всего, безотказность боковины тележки). Качество работы вагоноремонтных компаний и их гарантийные сроки для ответственных элементов конструкций вагонов в межремонтный период, также во многом определяют периодичность контролей технического состояния вагона на ПТО и величину гарантийного участка. При этом поскольку качество работы осматрщиков вагонов имеет некоторый предел, то и гарантийные участки можно увеличивать лишь до некоторого предельного значения. Повышение качества осмотра потребует дополнительных ресурсов (повышения стоимости однократного контроля технического состояния вагона на ПТО), которые должны быть направлены, прежде всего, на разработку и внедрение переносных диагностических систем выявления опасных отказов, входящих в древовидную модель аварийности грузового вагона.

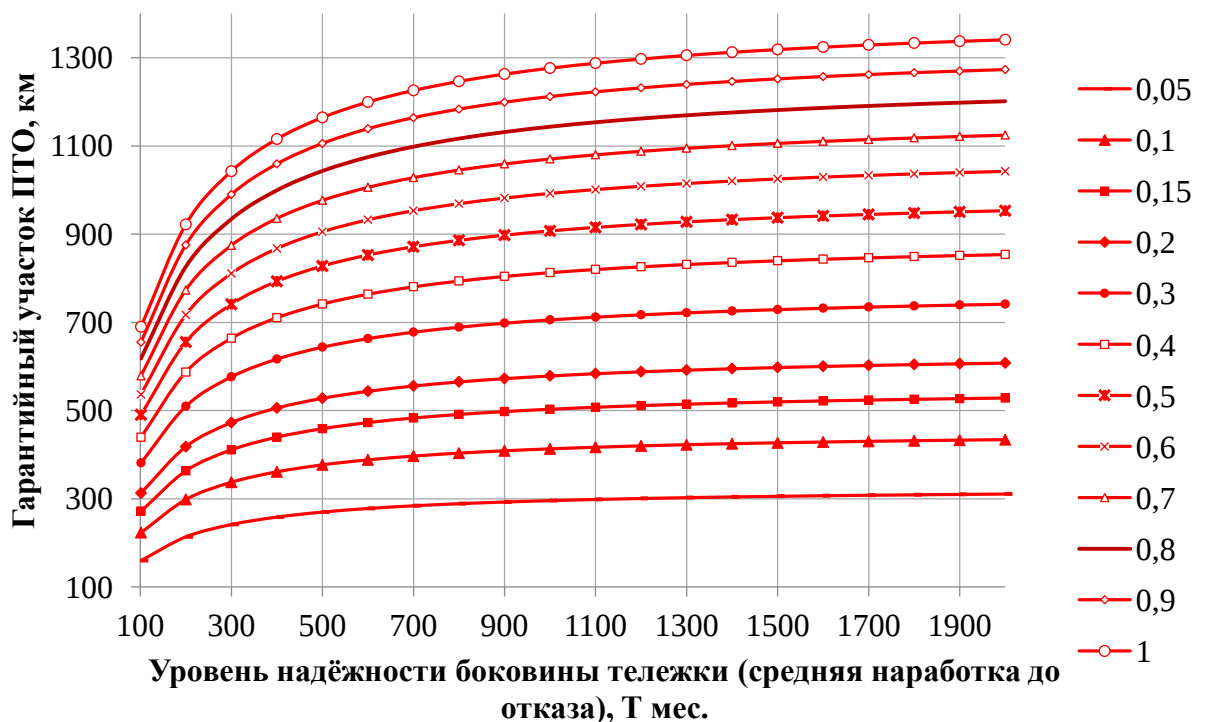


Рисунок 5.3 – Зависимость гарантийного участка ПТО от уровня надёжности боковины тележки

Как отмечено выше, при оптимизации периодичности контролей технического состояния для вагонов рассматриваемого типа в период между

плановыми ремонтами, получаем вектор, т.е. множество участков, отличающихся по величине. Чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию всего вагонного парка на полигоне сети железных дорог, необходимо создать автоматизированную систему контроля гарантийных участков ПТО. Аналогичная система существует для контроля недопущения курсирования вагонов грузового парка с истекшим периодом между плановыми ремонтами, основы функционирования которой сформулированы в работе [6].

Сформулируем основные положения и принципы функционирования автоматизированной системы контроля работы вагонов на гарантийных участках.

5.5 Выводы по разделу 5

1) Подтверждён системный характер задачи повышения безостановочного пробега поезда без технического обслуживания с помощью оценки влияния на периодичность контроля технического состояния на станциях показателей работы ПТО и надёжности вагона. Среди них вероятность брака в работе осмотрщиков ПТО, их квалификация, стоимость контроля технического состояния вагона, качество выполнения плановых ремонтов, показатель безотказности ответственных элементов конструкции.

2) Наибольший эффект увеличения гарантийных участков ПТО можно получить за счёт повышения показателя надёжности ответственных элементов, входящих в модель аварийности грузового вагона (в рассматриваемом примере для вагонов рассматриваемого типа это, прежде всего, безотказность боковины тележки). Качество работы вагоноремонтных компаний и их гарантийные сроки для ответственных элементов конструкций вагонов в межремонтный период, также во многом определяют периодичность контролей технического состояния вагона на ПТО и величину гарантийного участка. При этом, поскольку качество работы осмотрщиков

вагонов имеет некоторый предел, то и гарантийные участки можно увеличивать лишь до некоторого предельного значения. Повышение качества осмотра потребует дополнительных ресурсов (повышения стоимости однократного контроля технического состояния вагона на ПТО), которые должны быть направлены, прежде всего, на разработку и внедрение переносных диагностических систем выявления опасных отказов, входящих в древовидную модель аварийности грузового вагона.

3) При оптимизации периодичности контролей технического состояния для вагонов рассматриваемого типа в период между плановыми ремонтами, получаем вектор, т.е. множество участков, отличающихся по величине. Чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию всего вагонного парка на полигоне сети железных дорог, необходимо создать автоматизированную систему контроля гарантийных участков ПТО. Аналогичная система существует для контроля недопущения курсирования вагонов грузового парка с истекшим периодом между плановыми ремонтами, основы функционирования которой сформулированы в работе [6].

6 ТЕХНОЛОГИИ НОРМИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ГАРАНТИЙНЫХ УЧАСТКОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

6.1 Технология информационного взаимодействия при организации безопасного проследования поездов по гарантийным участкам

С целью сокращения ошибок операторов ПТО при ручном вводе и назначении гарантийных участков безопасного проследования поездов разработана новая технология работы с поездами, на которые выдана гарантия после проведения технического обслуживания на ПТО [48].

Ранее гарантийный участок следования, на котором ПТО несло ответственность за безаварийное проследование поезда, (т.е. станция окончания участка, на которой должно проводиться очередное обслуживание), определялся операторами ПТО на основании индекса поезда. При такой технологии могли возникать ошибки, вызванные человеческим фактором.

Основной особенностью предложенной технологии является выдача гарантии ПТО на определённое расстояние (км) в зависимости от типа поезда. При этом станция окончания гарантийного участка рассчитывается автоматически с учётом фактического маршрута следования поезда или его изменений и контролируется с помощью автоматизированной системы, исключая ошибки операторов ПТО. Предложен следующий порядок формирования гарантии ПТО и передачи информации в автоматизированные системы:

- при назначении гарантии ПТО станции после формирования поезда или при окончании действия предыдущего гарантийного участка предусмотрен следующий порядок действия:

- 1) подача информации о формировании или переформировании поезда. Для этого в АСО УП передают информацию в виде сообщений

формы 02 или 208 с кодом 5 (соединение в составе), 31 (объединение в составе), 41 (разъединение в составе);

2) предъявление поезда к техническому обслуживанию. Для этого электронную вагонную учётную форму с перечнем всех вагонов сформированного состава отправляют на ПТО;

3) проведение работниками ПТО технического обслуживания, включая осмотр и опробование тормозного оборудования состава в соответствии с местной технологией;

4) после окончания технического обслуживания по каждому подготовленному вагону состава в электронной форме ВУ-14 ЭТД делается отметка о его готовности (ставится «финишная» подпись ответственного работника ПТО);

5) формирование и передача в АСО УП информации о назначенном гарантийном участке ПТО. Для этого формируется автоматически сообщение 221 «Назначение гарантийного участка на поезд после проведения технического осмотра» по данным подписанной электронной формы ВУ-14 ЭТД из АСУ ПТО. Сообщение 221 становится первоисточником информации о постановке поезда на гарантию для автоматизированных систем ОАО «РЖД» (структура сообщения представлена в приложении 2);

6) формирование и передача в АСО УП информации о готовности и отправлении поезда. Для этого передают сообщения формы 205 – «Готовность поезда к отправлению» и 200 – «Отправление поезда». По результатам обработки сообщения 205, 200 в АСО УП автоматически рассчитывается станция (ПТО) конца гарантийного участка исходя из прогнозного маршрута движения поезда и расстояния, определенного в зависимости от типа поезда (таблица 6.1). При отмене сообщения об отправлении поезда или о готовности поезда к отправлению информация о станции окончания гарантийного участка из базы данных удаляется и рассчитывается заново при поступлении очередного сообщения об отправлении.

Станция (ПТО) окончания гарантийного участка при отправлении и следовании поезда по прогнозному маршруту может быть только одна. Изменения станции окончания гарантийного участка и возможные причины её изменения описаны в разделе 4.2.

По моменту расчёта станции окончания гарантийного участка АСО УП передает в регламенте данные о постановке поезда на гарантию в адрес станции окончания гарантийного участка (ПТО) и в смежные системы (структура сообщения в приложении 2).

В результате ввода данных в АСО УП по поездам, находящимся на гарантийном обслуживании, должны быть сформированы следующие данные (данные о гарантии):

- признак «поезд на гарантии»;

- тип гарантии (определяется в соответствии с классификатором, таблица 6.1);

- дата и время постановки признака «поезд на гарантии»;

- код ЕСР станции начала гарантийного участка;

- код ЕСР станции окончания гарантийного участка.

Указанная информация доступна для смежных информационных систем (по запросу или в регламенте).

Рассчитанная станция окончания гарантийного участка по моменту прибытия поезда на неё становится станцией назначения очередной гарантии. В этом случае передача информации о назначении очередной гарантии в информационные системы производится в соответствии с описанным выше порядком.

- при назначении гарантии для транзитных поездов

Передача данных о гарантии ПТО на поезд, принятый по межгосударственному стыковому пункту, производится на первой станции ПТО в маршруте следования поезда после проведения технического обслуживания поезда.

Транзитные поезда, принятые по междорожному стыку, сохраняют гарантию, выданную на железной дороге технического обслуживания. Данные о гарантии доступны для обработки в информационных системах (АСО УП, АСУ ПТО, АСУ СТ).

На ПТО, не являющихся станциями окончания гарантийного участка, техническое обслуживание поезда не производится.

Автоматизированная система позволит при изменении маршрута движения поезда (отклонение от прогнозного маршрута) сохранить признак «поезд на гарантии» согласно новому прогнозному маршруту и назначить (с помощью расчёта) новую стацию окончания гарантийного участка (ПТО).

Обновленные данные о гарантии доступны для обработки в информационных системах (АСО УП, АСУ ПТО, АСУ СТ). При отсутствии в прогнозном маршруте следования станции, где расположено ПТО, признак «поезд на гарантии» снимается.

При необходимости изменения сведений о гарантии поезда в пути следования возможна отмена ранее введенного сообщения 221 «Назначение гарантийного участка на поезд после проведения технического осмотра», путём ввода сообщения 333/221 «Сообщение об отмене сообщения 221».

Передача сообщения 333/221 (отмена сообщения 221) может производиться на любой станции, являющейся станцией технического обслуживания до момента передачи сообщения о готовности поезда к отправлению или отправления поезда (передачи сообщений 205, 200 и аналогов). По поступлению сообщения 333/221 в АСО УП проставляются данные о снятии поезда с гарантии (признак «поезд на гарантии» снимается), и выполняется передача информации в регламенте в адрес станции, ранее определенной как станция окончания гарантийного участка, и в смежные системы.

Автоматическое снятие в системе признака «поезд на гарантии» производится в случае:

прибытия поезда на стацию окончания гарантийного участка (сообщение 201 и аналоги);

прицепки вагонов к поезду (сообщение 09 – «Сообщение корректировки данных ТГНЛ»);

изменения индекса поезда (сообщение 209 – «Изменение индекса поезда»);

«бросания» поезда по приказу (сообщение 204 – «Сообщение об отстановке от движения («бросании») поезда»).

отсутствия в прогнозном маршруте следования станции, имеющей ПТО, при изменении маршрута следования.

При соединении поездов (сообщение 208) – соединение поездов на перегоне или станции для пропуска их на один и более диспетчерских участков.

Соединённому поезду признак «поезд на гарантии» может быть сохранён при условии, что все вагоны соединённого поезда прошли техническое обслуживание с минимальным остатком следования до окончания гарантийного участка.

Поездам, вошедшим в соединение, признак «на гарантии» и данные о гарантии сохраняются.

При прибытии соединённого поезда на стацию окончания гарантийного участка признак «поезд на гарантии» у соединённого поезда снимается, у поездов, находящихся в соединении, сохраняется. Технология постановки соединённого поезда на гарантию аналогична технологии при формировании поезда.

При разъединении поездов (сообщение 208) – разъединение поездов, ранее соединённых сообщением 208.

У соединённого поезда признак «на гарантии» и данные о гарантии сохраняются (исключением является прибытие соединённого поезда на стацию окончания гарантийного участка).

У поездов, выходящих из соединения, выполняется анализ согласно данным прогнозного маршрута, и, в зависимости от анализа, выполняется перерасчёт станции окончания гарантийного участка, или снимается гарантия.

В системе предусмотрен следующий логический контроль при отправлении поезда.

При отсутствии на поезд информационного сообщения 221 «Назначение гарантийного участка на поезд после проведения технического осмотра» (отсутствие признака «поезд на гарантии») запрещается передача со станций, оборудованных ПТО, сообщений:

205 – «Сообщение о готовности поезда к отправлению»;

200 – «Сообщение об отправлении поезда»;

202 – «Сообщение о проследовании поезда»;

1042 – «Сообщение об операциях с поездами и общих сведениях о них» (аналог сообщений 200, 202, 205). Срабатывает барьерная функция АСО УП, сообщения не принимаются с выдачей ошибки «нет гарантии на поезд». Обход контроля возможен с выделенного автоответа.

Ответственность за проследование поезда за пределы назначения гарантийного участка без проведения технического осмотра, за отправление поезда без гарантии, а также за своевременное представление поезда к техническому осмотру несут работники дирекции управления движением.

Важный элемент автоматизированной системы – это ведение нормативно-справочной информации (НСИ), классификаторов. Среди них:

перечень станций, на которых находятся ПТО, и их классификация для расчёта станции окончания гарантийного участка и проведения необходимого логического контроля определяется Центральной дирекцией инфраструктуры. Перечень станций заносится в таблицу АС ЦНСИ;

для определения допустимого гарантийного расстояния следования поезда в АС ЦНСИ ведется классификатор «Гарантийные расстояния». На основе данных о поезде и согласно информации в классификаторе

определяется гарантийное расстояние и выполняется расчёт станции окончания гарантийного участка. Классификатор включает в себя: расстояние в километрах; наименование группы; описание группы.

Сотрудниками Центральной дирекции инфраструктуры возможна корректировка данного классификатора через АРМ «Автоматизированная система создания гарантийных участков» в части изменения допустимого расстояния для группы. Номера поездов для ускоренных контейнерных и для рефрижераторных поездов определяются Центральной дирекцией управления движением. В случае необходимости внесения новой группы или изменения понятия группы в ПКTB ЦКИ направляется письменное уведомление с указанием даты ввода изменения для выполнения корректировок программного обеспечения АСО УП, связанных с изменением расчёта станции окончания гарантийного участка.

При этом независимо от даты ввода изменения данные о гарантии, рассчитанные для поездов, находящихся в движении, и не прибывших на станцию окончания гарантийного участка, перерасчёту не подлежат.

Как видно, вышеописанная технология может быть перенастроена на использование предложенной методики. Для этого потребуется при назначении гарантийного участка поезда воспользоваться справочными и рассчитанными в автоматическом режиме данными по величине оптимальной периодичности проведения технического обслуживания каждого вагона. При этом возможно использование технологии, когда система будет отслеживать проведение контролей технического состояния вагона на ПТО в период между глубокими диагностиками в соответствии с оптимальным планом D_n , обеспечивающим требуемый уровень рисков на железнодорожном транспорте.

Как отмечено в исследовании, для проведения целенаправленных мероприятий для повышения безостановочного движения поездов необходимы согласованные действия предприятий вагонного комплекса

(вагонных линейных предприятий), а также соответствующего финансирования.

Таблица 6.1 – Классификатор «Гарантийные расстояния»

№ п/п	Расстояние, км	Наименование	Описание
1	2300	груженые	не более 2300 км для груженых поездов. Грузовым груженым поездом считается поезд, в составе которого имеется хотя один груженный вагон грузового парка
2	3300	порожние	не более 3300 км для порожних поездов. Грузовым порожним поездом считается поезд, в составе которого отсутствуют груженые вагоны грузового парка
3	4000	ускоренные	не более 4000 км для груженых или порожних контейнерных платформ в составе контейнерных поездов и для рефрижераторных поездов, состоящих из изотермических вагонов (с возможностью постановки в поезд контейнерных платформ) в ускоренном режиме пропуска. Номера поездов установлены в графике движения поездов, определяются Центральной дирекцией управления движением
4	6000	Barber	не более 6000 км для сформированных груженых и порожних маршрутов грузовых поездов, состоящих из вагонов, оборудованных тележками моделей 18-9810 и 18-9855 (Barber). При наличии в составе сформированного маршрута вагонов иных моделей или оборудованных другими моделями тележек отправление производить по гарантийным участкам протяженностью не более 2300 км для груженых поездов, не более 3300 – для порожних. Перечень моделей определяет ЦДИ
5	6500	Barber	не более 6500 км для сформированных маршрутов груженых и порожних грузовых поездов, состоящих из платформ 13-9834-01 с тележками 18-9810 (Barber). При наличии в составе сформированного маршрута вагонов иных моделей или оборудованных другими моделями тележек отправление производить по гарантийным участкам протяженностью не более 2300 км для груженых поездов и не более 3300 – для порожних. Перечень моделей определяет ЦДИ

Рассмотрим разработанный алгоритм управления гарантийным участком ПТО грузовых вагонов (показателем безопасности).

6.2 Технология управления показателем безопасности вагона

Для повышения эффективности работы железнодорожного транспорта и при реализации увеличения гарантийных участков ПТО грузовых вагонов необходимо обеспечить уровень безопасности движения на требуемом уровне.

В системе управления потребуется измерять достигнутый показатель безопасности (гарантийного участка ПТО), а также установить предельное его значение. С помощью разработанной методики в разделе 4, на основе первичной информации об отказах элементов вагонных конструкций, определено достигнутое (текущее) значение упомянутого показателя безопасности для вагонов рассматриваемого типа при безусловном обеспечении безопасности движения.

В системе управления зададим три параметра:

критический уровень показателя безопасности. Это минимальный допустимый период между контролями технического состояния вагона на ПТО $l_{\text{гв}}^K$;

допустимый уровень $l_{\text{гв}}^D$;

предельный уровень – требуемое или необходимое значение гарантийного участка $l_{\text{гв}}^Э$.

Необходимые управленческие решения для обеспечения требуемого уровня величины гарантийного участка и управления этим показателем принимаем по результатам сравнения достигнутого параметра $l_{\text{гв}}^T$ с перечисленными выше тремя параметрами в соответствии с технологией, представленной на рисунке (рисунок 6.1).

В случае, если $l_{\text{гв}}^T > l_{\text{гв}}^D$ – это соответствует нормальной эксплуатации вагонов рассматриваемого типа.

При невыполнении этого условия потребуются мероприятия, направленные на повышение текущего уровня показателя l_{cy}^T .

Если финансирование работ по повышению текущего показателя не предусмотрено, то его значение сравнивают с критическим значением. И если текущее значение меньше критического, то требуются срочные меры для повышения безопасности движения, вплоть до остановки эксплуатации вагонов рассматриваемой совокупности.

При наличии финансирования, размер которого может быть определён с помощью рассмотренной в работе методики, выполняется размещение заказов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, направленные на повышение текущего значения показателя безопасности грузового вагона рассматриваемого типа. При этом работы, как показано в разделе 5 могут касаться как конструкции вагонов, повышения контролепригодности, безотказности, разработки переносных систем контроля опасных отказов элементов вагонных конструкций, повышения качества глубокой диагностики и ремонтов крупного объёма, повышения квалификации осматрщиков вагонов.

С помощью предложенной в работе технологии верхней оценки периодичности контроля технического состояния вагонов рассматриваемого типа на ПТО можно выполнить выбор наиболее эффективного решения, позволяющего повысить текущий показатель безопасности вагона до требуемого уровня.

Таким образом, предложенная технология (рисунок 6.1) позволит управлять и поддерживать рассмотренный показатель на требуемом уровне, что может стать основой системы поддержки принятия управленческих решений в вагонном комплексе железнодорожного транспорта.

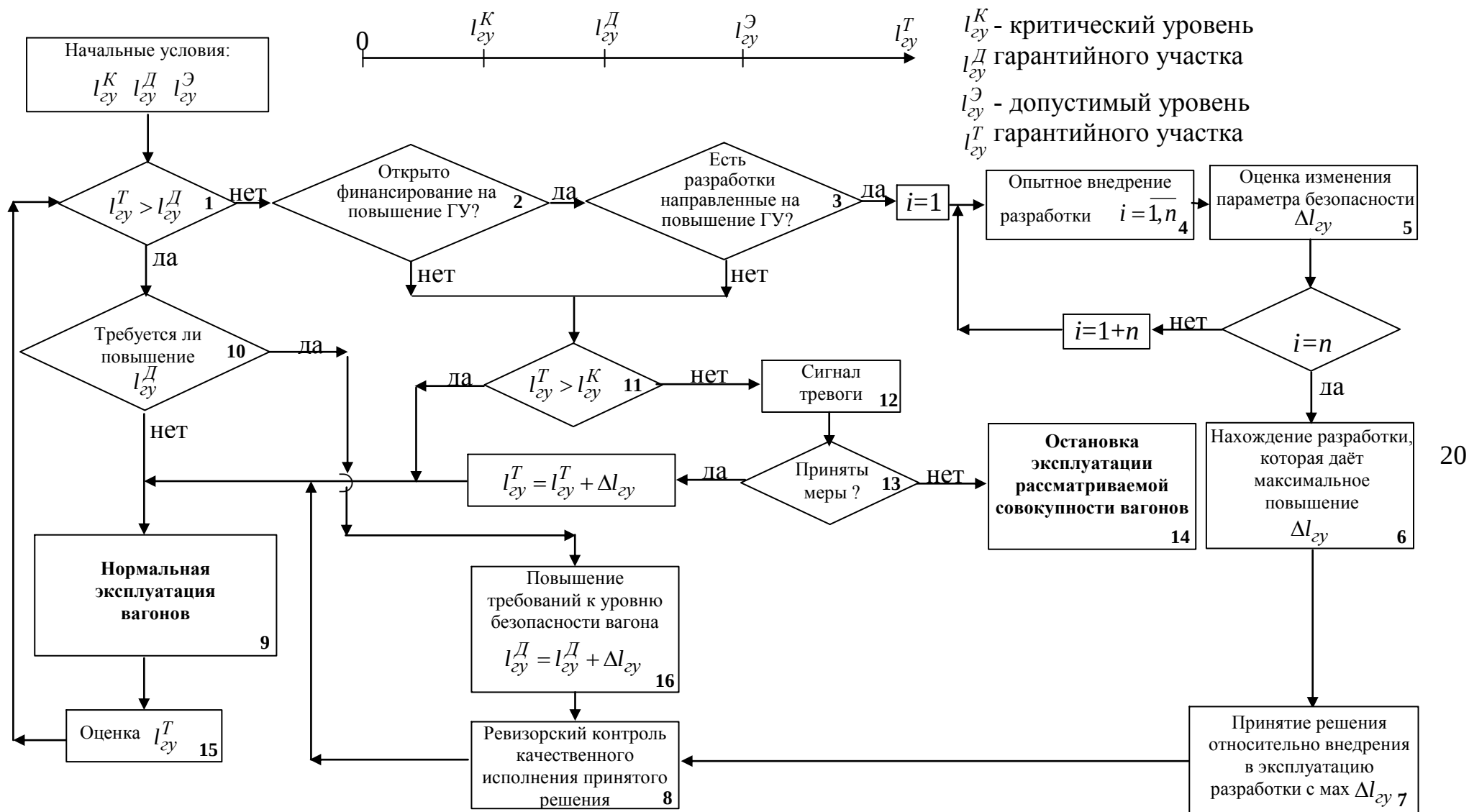


Рисунок 6.1 – Схема системы управления гарантийным участком ПТО

6.3 Вывод по разделу 6

Разработанная методика расчётного обоснования гарантийного участка ПТО с учётом технического состояния тормозной системы вагона может быть использована на сети дорог как для стратегического планирования и формирования требований к конструкции вагона и параметрам его эксплуатационной среды, так и оперативного управления, и контроля работы вагонов для обеспечения требуемого уровня безопасности движения. С этой целью разработана и внедрена отраслевая технология информационного взаимодействия автоматизированных систем ОАО «РЖД» при организации безопасного проследования поездов по гарантийным участкам. Кроме того, предложена технология управления показателем безопасности грузового вагона, направленная на обеспечение требуемой величины гарантийных участков ПТО, а также оценку эффективности мероприятий по повышению, обеспечению и поддержанию требуемого уровня безопасности грузового вагона, в которой использована разработанная методика расчётного обоснования протяжённости гарантийных участков ПТО с учётом надёжности тормозной системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ опыта эксплуатации грузовых вагонов, а также выполненных научных исследований в области обоснования гарантийного участка ПТО позволил сформулировать актуальные для железнодорожного транспорта проблемы, цели и задачи диссертации. Несмотря на то, что основной целью работы ПТО является обеспечение безопасности движения на гарантийном участке, в исследованиях используют либо детерминированные модели, выстраиваемые только на основе информации системы КАСАНТ (о случаях задержек поездов), либо применяют показатели безотказности (интенсивность потока отказов), которые являются свойством конструкции, а, следовательно, зависят только от её параметров. Однако к решению такого класса задач необходимо подходить, соблюдая принципы системности и оптимальности, так как при научно необоснованном изменении гарантийных участков в ту или иную сторону, могут возникнуть негативные последствия для железнодорожного транспорта в целом. При расчётном обосновании протяжённости гарантийных участков ПТО должны использоваться подходы обеспечения безопасности объекта в эксплуатации, поэтому необходимо учитывать не только безотказность грузового вагона, но и его контролепригодность, характеристики и показатели работы предприятий вагонного комплекса, допустимый уровень рисков крушений и аварий. Кроме того, для повышения эффективности работы железнодорожного транспорта и увеличения безостановочного движения поездов для вагонного комплекса нужна система, не только рассчитывающая величину гарантийного участка ПТО, но и осуществляющая его автоматизированный контроль, а также потребуются технология управления этим показателем.

С учётом этого в работе получены следующие результаты:

- 1 разработана методика расчётного обоснования гарантийного участка ПТО с учётом оценки технического состояния тормозной системы, которая ориентирована на использование возможностей существующей

информационной базы железнодорожного транспорта, а также система автоматизированного контроля следования поездов по гарантийным участкам и технология управления показателем безопасности грузового вагона;

2 сформированы древовидная и двухполюсная модели аварийности грузового вагона с учётом применённых понятий безопасности объекта;

3 усовершенствована математическая модель, определяющая вероятность схода вагона с рельсов, за счёт дерева событий, приводящих к падению на путь триангеля тормозной системы грузового вагона;

4 построена вероятностная модель столкновения поезда из-за отказа тормозной системы, в которой применена частная теорема о повторении опытов;

5 на основе проведённого эксперимента получены точечные оценки теоретически обоснованных вероятностных моделей опасных отказов, входящих в разработанную расчётную схему аварийности, для вагонов рассматриваемого типа;

6 на основе приведённой методики и полученных вероятностных моделей получена нижняя оценка оптимальной периодичности контроля технического состояния грузовых вагонов (рассматриваемого типа) на ПТО в период между их глубокими диагностиками, выполняемыми при ремонте крупного объёма (деповском или капитальном);

7 подтверждён системный характер задачи повышения безостановочного пробега поезда без технического обслуживания с помощью оценки влияния на периодичность контроля технического состояния на станциях показателей работы ПТО и надёжности вагона. Среди них вероятность брака в работе осмотрщиков ПТО, их квалификация, стоимость контроля технического состояния вагона, качество выполнения плановых ремонтов, показатель безотказности ответственных элементов конструкции;

8 разработана и внедрена отраслевая технология информационного взаимодействия автоматизированных систем ОАО «РЖД» при организации безопасного проследования поездов по гарантийным участкам;

9 предложена технология управления показателем безопасности грузового вагона, направленная на обеспечение требуемой величины гарантийных участков ПТО, а также оценку эффективности мероприятий по повышению, обеспечению и поддержанию требуемого уровня безопасности грузового вагона, в которой использована разработанная методика расчётного обоснования протяжённости гарантийных участков ПТО с учётом надёжности тормозной системы.

Выполненные исследования, разработанная методика и проведённые расчёты позволят организовать управление безопасностью движения на основе существующих отраслевых информационных систем при решении задачи повышения эффективности работы вагонного хозяйства и железнодорожного транспорта, а также оценивать результативность исследований, направленных на повышение гарантийных участков ПТО, при безусловном обеспечении безопасности движения.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АДУ – автоматизированная диагностическое устройство

АРМ – автоматизированное рабочее место

АС ЦНСИ – автоматизированная система централизованного нормативно-справочной информации

АСДТ – автоматизированная система диагностики тормозов

АСО УП – автоматизированная система оперативного управления перевозками

АСООД – автоматизированная система обнаружения вагонов с отрицательной динамикой

АСУ – автоматизированная система управления

АСУ СТ – автоматизированная система управления станциями

ВБР – вероятность безотказной работы

ВКМ – вагоноколёсные мастерские

ВРЗ – вагоноремонтный завод

ВУ – вагонная учётная форма

ВХ – вагонное хозяйство

ВЧДР – вагонное ремонтное депо

ВЧДЭ – эксплуатационное вагонное депо

ГВЦ – главный вычислительный центр

ЖДТ – железнодорожный транспорт

ЖТСВ – журнал технического состояния вагонов

ЗР – запасной резервуар

КАС АНТ – комплексная автоматизированная система учёта, контроля устранения отказов в работе технических средств и анализа их надёжности

КП – контрольный пост

КТСМ – Комплекс технических средств многофункциональный

МПРВ – механизированный пункт ремонта вагонов

НСИ – нормативно-справочная информация

НСС – нормативный срок службы

НТД – нормативно-техническая документация

ОАО «РЖД» – ОАО «Российские железные дороги»

ОТС – отказ технических средств

ПКТБ ЦКИ – проектно-конструкторско-технологическое бюро по системам информатизации

ППВ – пункт подготовки вагонов к перевозкам

ППС – промывочно-пропарочная станция

ПТО – пункт технического обслуживания

ПТП – пункт технической передачи вагонов на подъездные пути предприятий

ПТЭ – правила технической эксплуатации

САКМА – система автоматизированного контроля механизма автосцепки

САС – скрытое аварийное состояние

СВЧ – составные части вагона

ТГНЛ – телеграмма – натурный лист поезда

ТМ – тормозная магистраль

ТОиР – техническое обслуживание и ремонт

ТРП – тормозная рычажная передача

ТСП – тормозная система поезда

УЗОТ – устройство для зарядки и опробования тормозов

УКСКБ – автоматическое устройство контроля сползания буксы с шейки оси

УКСПС – устройство контроля схода железнодорожного подвижного состава

УКТП – устройство контроля тормозов поезда

УНКР – угол набегания колеса на рельс

ФЭП – функция эксплуатационных потерь

ЦПУВ – система централизованного пономерного учёта грузовых вагонов

ЦФ – целевая функция

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Аманжулова, Ж.А. Анализ современных автоматизированных систем управления для повышения безопасности движения поездов / Ж.А. Аманжулова // «Знание». – М.: – 2018. – № 3-1 (55). – С. 48-56.
- 2 Барзилович, Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высшая школа, 1982. – 232 с.
- 3 Большев, Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. – М.: Наука, 1983. – 464 с.
- 4 Бороненко, Ю.П. Возможности конструктивных схем тележек для обеспечения устойчивости в прямой и радиальной установки колесных пар в кривых / Ю. П. Бороненко, А. М. Орлова, Е. А. Рудакова // Тезисы докладов III научно-технической конференции «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». – СПб., 2003. – С. 35-37.
- 5 Бычек, И.С. Обоснование протяжённости гарантийных участков железной дороги (по условию надёжности грузовых вагонов): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Бычек Иван Степанович. – М., 1998. – 16 с.
- 6 Вологодина, Л.Б. Совершенствование системы обеспечения безопасной эксплуатации грузовых вагонов на основе новых информационных технологий: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Вологодина Людмила Борисовна. – М., 2004. – 190 с.
- 7 Воробьёв, А.А. Оценка ресурса оборудования ТПС / А.А. Воробьёв, А.В. Скребков // Мир транспорта. – 2012. – № 5. – С. 15-18.
- 8 Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надёжности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьёв. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
- 9 Горский, А.В. Оптимизация системы ремонта локомотивов / А.В. Горский, А.А. Воробьёв. – М.: Транспорт, 1994. – 210 с.
- 10 Горский, А.В. Надёжность электроподвижного состава / А.В. Горский, А.А. Воробьев. – М.: Маршрут, 2005. – 303 с.

- 11 ГОСТ 27.002-89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 01.07.1990. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 37 с.
- 12 Гридюшко, В.И. Вагонное хозяйство: учеб. пособ. для вузов ж.-д. трансп. / В.И. Гридюшко, В.П. Бугаев, Н.З. Криворучко; [под ред. В.И. Гридюшко, Ю.С. Подшивалова]. – М.: Транспорт, 1988. – 295 с.
- 13 Гурский, Е.П. Оценка эксплуатационной надёжности грузовых вагонов и выбор протяженности гарантийного участка / Е.П. Гурский // «Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого». – 2009. – № 2 – С. 21-26.
- 14 Гурский, Е.П. Совершенствование технического обслуживания грузовых вагонов на основе вероятностного анализа их отказов / Е.П. Гурский // «Механика. Исследования и инновации». – 2017. – № 10 – С. 48-54.
- 15 Зыков, Ю.В. Совершенствование системы технического диагностирования грузовых вагонов в эксплуатации / Ю.В. Зыков, Е.И. Сигилева // Транспорт Урала. – 2013. – № 2 (37). – С. 15-19.
- 16 Иванов, А.А. Некоторые принципы системного проектирования грузового вагона / А.А. Иванов, П.А. Устич. – М.: ИГ Вариант, 1998. – 416 с.
- 17 Иванов, А.А. Методические основы разработки системы управления техническим состоянием вагонов: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / А.А. Иванов, В.Н. Котуранов, Г.В. Райков, П.А. Устич; Под ред. П.А. Устича. – М.: Маршрут, 2012. – 689 с.
- 18 Иванов, А.А. Анализ контролепригодности тормозной системы грузового вагона / А.А. Иванов, М.А. Козарезова (М.А. Савченко) // «Мир транспорта». – 2017. – № 2 (69). – С. 82-96.
- 19 Иванов, А.А. К вопросу определения нормированного показателя длины гарантийного участка безопасного и безостановочного проследования грузового поезда на основе оценки надёжности тормозной

системы вагонов / А.А. Иванов, М.А. Козарезова (М.А. Савченко) // Труды XVII научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, – 2016. – С. II-29 - II-30.

20 Иванов, А.А. Методические основы разработки системы управления техническим состоянием вагонов: учеб. пособие / А.А. Иванов и др.; под ред. П.А. Устича. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. – 662 с.

21 Иванов, А.А. Надёжность вагонов: Методические указания к курсовой работе / А.А. Иванов, П.А. Устич. – М.: МИИТ, 2003. – 32 с.

22 Ивашов, В.А. Основы технического обслуживания вагонов: учебное пособие / В.А. Ивашов, М.В. Орлов. – Екатеринбург: МПС РФ Уральская государственная академия путей сообщения, 1995. – 101 с.

23 Карпычев, В.А. Разработка метода системного анализа автотормоза грузового подвижного состава. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Карпычев Владимир Александрович. – М., 2000. – 316 с.

24 Карпычев, В.А. Байесов подход к оценке риска на железнодорожном транспорте / В.А. Карпычев, А.В. Копылова // Научно-технический вестник Поволжья (Казань). – 2015 . – № 2. – С. 130-133.

25 Классификатор «Основные неисправности грузовых вагонов» (К ЖА 2005) / Дирекция совета по железнодорожному транспорту государств-участников содружества, информационно-вычислительным центр железнодорожной администраций. – М.: 2005. – 16 с.

26 Кобищанов, В.В. Выбор параметров конструкций кузовов вагонов с тонкой несущей обшивкой: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 [Текст] / Кобищанов Владимир Владимирович. – Брянск., 1999. – 289 с.

27 Козарезова, М.А. (Савченко М.А.) Автоматизированный контроль проследования поездов по гарантийным участкам / М.А. Козарезова (М.А. Савченко) // «Железнодорожный транспорт». – 2016. – № 8. – С. 62-63.

28 Козарезова, М.А. (Савченко М.А.) Автоматизированная

система управления пунктом технического обслуживания грузовых вагонов / М.А. Козарезова (М.А. Савченко) // «Железнодорожный транспорт». – 2017. – № 11. – С. 60-61.

29 Козарезова, М.А. (Савченко М.А.) Перспективы развития системы технического обслуживания грузовых вагонов / М.А. Козарезова (М.А. Савченко) // Труды XVIII научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, – 2017. – С. II-29 - II-30.

30 Колегаев, Р.Н. Экономическая оценка качества и оптимизация системы ремонта машин / Р.Н. Колегаев. – М.: Машиностроение, 1980. – 240 с.

31 Конышев, С.С. Организация технического обслуживания, ремонта и модернизации железнодорожного подвижного состава при гарантийном обеспечении безопасности движения / С.С. Конышев, Д.Ю. Лукс, М.А. Козарезова (М.А. Савченко) // VI Международный форум «Безопасность на транспорте». – Санкт-Петербург.: Crowne Plaza St. Petersburg Airport, – 2016. – С. 83-86.

32 Котуранов, В.Н. Нагруженность элементов конструкции вагона / В.Н. Котуранов, В.Д. Хусидов, П.А. Устич, А.И. Быков. – М.: Транспорт, 1991. – 238 с.

33 Лапшин, В.Ф. Основы технического обслуживания вагонов: учеб. пособие / В.Ф. Лапшин, М.В. Орлов. – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – 375 с.

34 Ломакин, И.С. Методика повышения эксплуатационной надёжности тормозной системы грузовых вагонов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Ломакин, Иван Сергеевич. – М., 2010. – 35 с.

35 Лосев, Д.Н. Оптимизация гарантийных участков безопасного проследования поездов / Д.Н. Лосев // «Железнодорожный транспорт». – 2011. – № 8. – С. 58-60.

36 Лукин, В.В. Конструирование и расчет вагонов: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В.В. Лукин, П.С. Анисимов, В.Н. Котуранов и др. [под ред.

П.С. Анисимова. - 2-е изд., перераб. и доп]. – М.: ФГОУ «УМЦ», 2011. – 688 с.

37 Лукс, Д.Ю. Повышение надежности грузовых вагонов в эксплуатации / Д.Ю. Лукс, И.В. Жуков // «Железнодорожный транспорт». – 2013. – № 11. – С. 52-54.

38 Лхамжавын, Б. Разработка и обоснование сроков службы и системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов (На примере полувагонов Улан-Баторской железной дороги): автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Лхамжавын Болд. – М., 2008. – 24 с.

39 Мажидов, Ф.А. Оценка остаточного срока службы грузового вагона с учётом его технического состояния. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Мажидов Фируз Абдувахобович. – М., 2016. – 124 с.

40 Мануилов, Н.И. Анализ влияние человеческого фактора на безотказную работу тормозного оборудования поездов / Н.И. Мануилов, П.Ю. Иванов, Е.Ю. Дульский // Ассоциация научных сотрудников «Сибирская академическая книга» (Новосибирск). – 2016. – № 12-2 (34). – С. 48-57.

41 Методическое указание «Об установлении гарантийных участков» и «Планом работ по обеспечению повышения участковой скорости грузовых поездов в графике движения поездов 1998-1999 гг.» / Указание от 27.03.1997 г. № А-369у. утверждено Министерством путей сообщения Российской федерации 28.03.1997 г. № ЦВРем-20/13. – Москва, 1997. – 34 с.

42 Митюхин, В.Б. Повышение эффективности вагонного хозяйства на основе использования новых информационных технологий: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Митюхин Виталий Борисович. – М., 2002. – 131 с.

43 Мотовилов, К.В. Технология производства и ремонта вагонов: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / К.В. Мотовилов, В.С. Лукашук, В.Ф. Криворудченко, А.А. Петров. – М.: Маршрут, 2003. – 382 с.

44 Об утверждении профессионального стандарта «Осмотрщик-

ремонтник вагонов, осмотрщик вагонов» / Утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 апреля 2014 г. № 187н. – Москва, 2014. – 21 с.

45 Общее руководство по ремонту тормозного оборудования вагонов 732-ЦВ-ЦЛ / Дирекция совета по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества, проектно-конструкторское бюро вагонного хозяйства – филиал открытого акционерного общества «Российские железные дороги» (ПКБ ЦВ ОАО «РЖД»). – Москва, 2010. – 182 с.

46 Отчетность компании ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=32

47 Положение о системе технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, допущенных в обращение на железнодорожные пути общего пользования в международном сообщении / Дирекция совета по железнодорожному транспорту государств–участников содружества, научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. – Москва, 2012. – 17 с.

48 Положение об организации работы пунктов технического обслуживания грузовых и пассажирских вагонов на инфраструктуре ОАО «РЖД» № 795-2016 ПКБ ЦВ / Утверждено ОАО «РЖД» от 7 декабря 2016 г. № 2475р. – Москва, 2016. – 26.

49 Положение по учёту, расследованию и проведению анализа случаев отказов в работе технических средств на инфраструктуре ОАО «РЖД» с использованием автоматизированной системы КАС АНТ / Утверждено ОАО «РЖД» от 23 декабря 2013 г. № 2852р. – Москва, 2013. – 102.

50 Райков, Г.В. Система обеспечения работоспособности вагонов грузового парка / Г.В. Райков, Н.Г. Мартынюк // Железнодорожный транспорт. Сер.: Вагоны и вагонное хозяйство. Ремонт вагонов. – 1998. – № 2. – С. 28–46.

51 Распоряжение ОАО «РЖД» от 18.12.2009 г. № 2623р утверждены и введены в действие с 20.12.2009 г. Комментарии к Инструкции по техническому обслуживанию вагонов в эксплуатации (инструкция осмотрику вагонов). Инструкция приведена в ред. Протокола 52-го Заседания Совета по ж.д. транспорту.

52 Савоськин, А.Н. Надежность несущих деталей подвижного состава при усталостных повреждениях / А.Н. Савоськин, Е.В. Сердобинцев // Вестник ВНИИЖТ. – М.: вып. 7, – 1984. – С. 33-36.

53 Савоськин, А.Н., Надежность деталей при постепенных отказах, вызванных накоплением усталостных повреждений / А.Н. Савоськин, Е.В. Сердобинцев // "Надежность и контроль качества". – М.: – 1986. – С. 17-22.

54 Сендеров, Г.К. Причины отцепок вагонов в текущий ремонт / Г.К. Сендеров, Е.А. Поздина, А.П. Ступин, Л.Б. Вологодина Д.А. Ступин // Бюллетень ОСЖД. – 1999. – № 4-5, – С. 20.25.

55 Устич, П.А. / Расчёт протяжённости гарантийного участка ПТО грузовых вагонов / П.А. Устич, А.А. Иванов, Д.Ю. Емельянов // Мир транспорта. – 2015. – № 2 – С. 34-42.

56 Устич, П. А. Некоторые аспекты проблемы нормирования уровня безопасности движения на примере железнодорожного транспорта / П.А. Устич, А.А. Иванов, Г.В. Аверин, М.А. Кузнецов, С.В. Петров. // Надёжность. – 2011. – № 1 (63). – С. 59–73.

57 Устич, П.А. Вагонное хозяйство: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / П.А. Устич, И.И. Хаба, В.А. Ивашов; [под ред. П.А. Устича]. – М.: Маршрут, 2003. – 560 с.

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

59 Устич, П.А. Методические основы разработки системы управления техническим состоянием вагонов: учеб. пособ. / А.А. Иванов и др.; [под ред. П.А. Устича]. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. – 662 с.

60 Устич, П.А. Надёжность рельсового нетягового подвижного состава / П.А. Устич, В.А. Карпычев, М.Н. Овечников. – М.: ИГ Вариант, 1999. – 416 с.

61 Устич, П.А. Надёжность рельсового нетягового подвижного состава / П.А. Устич, В.А. Карпычев, М.Н. Овечников. – М.: УМЦ МПС России, 2004. – 416 с.

62 Устич, П.А. Некоторые аспекты проблемы нормирования уровня безопасности движения на примере железнодорожного транспорта / П.А. Устич, А.А. Иванов, Г.В. Аверин, М.А. Кузнецов, С.В. Петров // Надёжность. – 2011. – № 1, – С. 59-73.

63 Устич, П.А. Обоснование мероприятий, направленных на повышение качества функционирования железнодорожного транспорта Российской Федерации: Учебное пособие по дисциплине «Вагонное хозяйство» / П.А. Устич, Г.И. Петров, С.В. Беспалько, А.А. Иванов, Т.Г. Курыкина, Д.П. Устич, П.П. Устич. – М.: МГУПС (МИИТ), 2015. – 75 с.

64 Устич, П.А. Расчёт протяжённости гарантийного участка ПТО грузовых вагонов / П.А. Устич, А.А. Иванов, Д.Ю. Емельянов // Мир транспорта. – 2015. – №2 (57). – С. 34-42.

65 Филиппов, В. Н. Особенности расчета, анализа и пути улучшения динамических показателей перспективных большегрузных вагонов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Филиппов Виктор Николаевич. – М., 1986. – 384 с.

66 Филиппов, В.Н. Нормы устройства и взаимодействия рельсовой колеи и колёсной пары – основные факторы безопасности движения / В.Н. Филиппов, Г.И. Петров, В.С. Плоткин // Научно-практическая конференция «Безопасность движения поездов», МИИТ, – 2003.

67 Фишбейн, Ф.И. Методы оценки надёжности по результатам испытаний / Ф.И. Фишбейн. – М.: Знание. 1973. – 97 с.

68 Хусидов, В.Д. Компьютерная оценка безопасности движения подвижного состава / В.Д. Хусидов, Г.И. Петров // Научно-практическая конференция «Безопасность движения поездов», МИИТ, – 1999.

69 Хусидов, В.Д. Компьютерная оценка безопасности движения подвижного состава/ В.Д. Хусидов, Г.И. Петров., А.Н. Шамаков // Научно-практическая конференция «Безопасность движения поездов», МИИТ, – 1999.

70 Черепов, О.В. Информационные технологии и системы комплексного контроля технического состояния вагонов: учеб. пособие в 2 ч. Ч. 2. Системы комплексного контроля технического состояния вагонов / О.В. Черепов, М.А. Козарезова (М.А. Савченко). – Екатеринбург: УрГУПС, 2017. – 108 с.

71 Шадур, Л.А. Вагоны: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Л.А. Шадур, В.Н. Котуранов и др. [под ред. Л.А. Шадура. – 3 - е изд., перераб. и доп]. – М.: Транспорт, 1980. – 439 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 – Справка о случае крушения поезда

Материальный ущерб от случая схода 34-х вагонов в поезде №2183 на перегоне оп. 46 км. – Мангут 30.11.2018 предварительно составил		
№ п/п	Наименование	Сумма прямого ущерба без учета НДС, руб.
1.	Затраты на восстановление работы	25 258 561,87
1.1.	Затраты на восстановление пути	7 816 642,25
1.1.1.	ПЧ	2 144 720,10
1.1.2.	ДРП	5 671 922,15
1.2.	Затраты на восстановление устройств СЦБ	655 893,65
1.3.	Затраты на восстановление контактной сети, обеспечение электробезопасности и освещение места работ	1 886 360,86
1.4.	Затраты на работу восстановительных поездов	2 254 000,00
1.5.	Затраты на работу локомотивов	977 298,61
1.6.	Организация связи с местом аварийно-восстановительных работ	423 206,05
1.7.	Организация питания работников занятых на аварийно-восстановительных работах, пассажиров задержанных поездов (ЕФ АО «ЖТК»)	209 876,23
1.7.1.	Питание работников занятых на аварийно-восстановительных работах	174 642,67
1.7.2.	Питание пассажиров задержанных поездов	35 233,56
1.8.	Затраты Западно-Сибирской дороги по ликвидации последствий схода (работа ПМС, ПЧ, НТЭ, ДПМ, ДАВС)	10 311 380,48
2.	Ущерб от подтверждения вагонов:	6 726 556,89
2.1.	Текущий ремонт (14 вагонов – ВЧДЭ-19)	2 284 517,46
2.2.	Деповской ремонт (4 вагонов)	940 000,00
2.3.	Капитальный ремонт (9 вагонов)	2 700 000,00
2.4.	Работы по подготовке поврежденных вагонов к транспортировке и сопровождение их к месту ремонта (ВЧДЭ-19)	802 039,43
3.	Условные потери от задержек поездов составили	250 303
4.	Объявленная стоимость груза в поврежденных вагонах	194 491 046,29
	Итого:	226 726 468,05

Служебный блок											
НС	код сооб- щения	КПЗ	номер поезда	индекс поезда			дата и время ввода сообщения				РБ
				станц. форм.	ном. сост.	станция назна- чения	день	мес.	часы	мин.	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	3	1 – 17	4	4	2 – 3	4	2	2	2	2	2

Пример сообщения:

(: 221 33003 2222 3300 01 8300 07 04 10 10 :)

Служебный блок												
НС	код сооб- щения	КПЗ	номер поезда	индекс поезда			дата и время ввода сообщения				конеч- ная станция гарант. участка	РБ
				станц. форм.	ном. сост.	станция назна- чения	день	мес.	часы	мин.		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	3	1 – 17	4	4	2 – 3	4	2	2	2	2	5	2
Пример сообщения: (: 221 33003 2222 3300 01 8300 07 04 10 10 80008 :)												