

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Забайкальский институт железнодорожного транспорта"  
– филиал федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
"Иркутский государственный университет путей сообщения"

На правах рукописи

Налабордин Денис Геннадьевич

Оценка влияния уровня надежности и безопасности грузовых вагонов  
на параметры системы их технического обслуживания и ремонта

05.22.07 – подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель (консультант)  
кандидат технических наук, доцент  
Иванова Татьяна Владимировна

Чита – 2015

## Содержание

|                                                                                                                                                                                                                            | Стр. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Введение.....                                                                                                                                                                                                              | 5    |
| Глава 1. Анализ результатов эксплуатации грузовых вагонов в условиях реформирования отрасли, систем планового ремонта и опыта обеспечения безопасности движения поездов.....                                               | 8    |
| 1.1 Анализ эксплуатации грузовых вагонов в условиях удлинения гарантийных участков технического обслуживания.....                                                                                                          | 8    |
| 1.2 Система технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов нового поколения .....                                                                                                                                    | 14   |
| 1.3 Обзор отечественного и зарубежного опыта организации технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов<br>Принципы ремонта и технического обслуживания других видов транспорта и технологического оборудования..... | 25   |
| 1.3.1 Существующая система технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов на железных дорогах Российской Федерации.....                                                                                              | 25   |
| 1.3.2 Система технического обслуживания и ремонта на других видах транспорта.....                                                                                                                                          | 36   |
| 1.3.3 Система технического обслуживания и ремонта вагонов в зарубежных странах.....                                                                                                                                        | 40   |
| 1.4 Цели диссертационной работы. Постановка задач.....                                                                                                                                                                     | 54   |
| Выводы по первой главе.....                                                                                                                                                                                                | 56   |
| Глава 2. Анализ работоспособности грузовых вагонов в межремонтном периоде .....                                                                                                                                            | 59   |
| 2.1 Текущее состояние парка грузовых вагонов России.....                                                                                                                                                                   | 59   |
| 2.2 Оценка динамики отцепок грузовых вагонов в текущий ремонт на основе анализа временных рядов.....                                                                                                                       | 62   |

|                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.3 Анализ причин отказов грузовых вагонов в межремонтном периоде.....                                                                            | 72  |
| Выводы по второй главе .....                                                                                                                      | 80  |
| Глава 3. Прогнозирование числа отцепок грузовых вагонов по грению буксового узла с применением метода сезонной декомпозиции.....                  | 81  |
| 3.1 Структура математической модели прогнозирования с применением сезонной компоненты.....                                                        | 81  |
| 3.2 Практическая реализация методики прогнозирования отцепок вагонов по нагреву буксового узла с применением сезонной компоненты.....             | 87  |
| Выводы по третьей главе .....                                                                                                                     | 94  |
| Глава 4. Оценка влияния эксплуатационной безопасности грузовых вагонов на параметры системы их технического обслуживания .....                    | 95  |
| 4.1 Теоретическая модель безопасной эксплуатации грузовых вагонов.....                                                                            | 95  |
| 4.2 Математическая модель оптимизации длины гарантийных участков на основе оценки параметров безопасности грузовых вагонов.....                   | 100 |
| 4.3 Статистическая оценка живучести боковых рам с критическим дефектом.....                                                                       | 105 |
| 4.4 Практическая реализация методики определения протяженности гарантийного участка на основе оценки параметра безопасности грузовых вагонов..... | 116 |
| Выводы по четвертой главе .....                                                                                                                   | 119 |
| Глава 5. Оценка влияния уровня безотказности грузовых вагонов на их нормативный срок службы и параметры системы ремонта .....                     | 120 |
| 5.1 Статистическая оценка вероятностей безотказной работы грузовых вагонов в межремонтных периодах.....                                           | 120 |

|       |                                                                                               |     |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2   | Оптимизация назначенного срока службы полувагона по критерию безубыточности эксплуатации..... | 129 |
| 5.3   | Анализ действующей системы технического обслуживания и ремонта полувагонов.....               | 138 |
| 5.4   | Расчет параметров системы технического обслуживания и ремонта полувагонов.....                | 153 |
| 5.4.1 | Выбор объекта оптимизационной задачи.....                                                     | 154 |
| 5.4.2 | Требования к системе технического обслуживания и ремонта полувагонов.....                     | 157 |
| 5.4.3 | Математическая формулировка задачи.....                                                       | 159 |
| 5.4.4 | Структура базы исходных данных.....                                                           | 160 |
| 5.4.5 | Целевая функция и обоснование ее минимума.....                                                | 164 |
| 5.4.6 | Методика расчета потребности в плановых ремонтах.....                                         | 180 |
| 5.4.7 | Алгоритм оптимизации системы ТОР.....                                                         | 183 |
| 5.4.8 | Оптимизация параметров системы ремонта полувагонов.....                                       | 186 |
|       | Выводы по пятой главе .....                                                                   | 199 |
|       | Заключение.....                                                                               | 200 |
|       | Список литературы.....                                                                        | 203 |

## Введение

Вагонное хозяйство является одной из важнейших отраслей железнодорожного транспорта. На его долю приходится около 20% эксплуатационных расходов и почти одна шестая часть контингента работников железнодорожного транспорта. Основные фонды вагонного хозяйства составляют одну пятую часть основных фондов отрасли, а эффективность работы железных дорог в значительной мере зависит от структуры вагонного парка, технико-экономических параметров вагонов, технического состояния вагонного парка.

В настоящее время особое внимание уделяется оптимизации межремонтных циклов и сроков службы грузовых вагонов, повышению качества ремонтных работ, внедрению новых и совершенствованию существующих форм организации производства. Продолжающийся прирост грузооборота транспортной системы страны определяет необходимость поддержания высокого уровня безопасности движения.

На обеспечение нормированного уровня безопасности движения огромное влияние оказывает техническое состояние подвижного состава, эксплуатирующегося на сети дорог. Несомненно, при выполнении перевозок грузовые вагоны должны надежно работать в заданном режиме эксплуатации в течение установленного времени и ресурса. Процесс возникновения неисправностей вагонов является случайным, и присущие ему закономерности изучаются с применением вероятностных методов, широко применяемых в теории надежности и массового обслуживания.

Для обеспечения безопасности движения в условиях перехода на новую систему планово-предупредительного ремонта и увеличения межремонтного ресурса грузовых вагонов необходимо не просто устранять причины допущенных нарушений безопасности, но и создавать эффективную систему предупреждения на основе глубокого анализа статистической информации об отказах. Для этого необходимо создать управленческие инструменты и

механизмы, которые позволят своевременно принять меры по выявлению возможных рисков и воздействовать на них до наступления отказа.

Цель диссертационного исследования заключается в определении численных значений показателей надежности и безопасности и оценке их влияния на параметры системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов.

Для достижения поставленной цели в рамках настоящей диссертационной работы необходимо было решить следующие основные задачи:

- выполнить характеристику состояния инфраструктуры вагонного хозяйства в условиях реформирования отрасли; обобщить систему мер, направленную на повышение качества ремонта подвижного состава и обеспечение безопасности движения поездов;
- выполнить детальный анализ числа отцепок грузовых вагонов в текущий ремонт на основе временных рядов и определить основные тенденции их развития;
- определить перечень неисправностей в соответствии с действующим классификатором, по которым производится основная доля отцепок грузовых вагонов в текущий ремонт;
- определить основные причины отказов грузовых вагонов;
- раскрыть вопрос по прогнозированию числа отказов грузовых вагонов, связанных с нагревом буксового узла в течение года, на основе применения метода сезонной декомпозиции случайной величины;
- выполнить вероятностный анализ эксплуатационной безопасности грузовых вагонов;
- определить оптимальную длину гарантийных участков на основе оценки параметра безопасности грузовых вагонов;
- определить вероятности безотказной работы грузового вагона по межремонтным периодам в течение назначенного срока службы;
- определить оптимальный срок службы полувагона по критерию безубыточности эксплуатации;

- оптимизировать параметры системы технического обслуживания и ремонта (ТОР) и назначенного срока службы (НСС) полувагона, отвечающие требованиям безопасности движения и возможностям вагоноремонтной базы в рамках единой математической модели.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что:

- при оптимизации параметров системы технического обслуживания учитывался такой параметр безопасности, как живучесть грузового вагона;
- получено расчетное (с экономической точки зрения) обоснование верхней и нижней границ назначенного срока службы полувагона по критерию безубыточности, с учетом влияния уровня его безотказности и интенсивности эксплуатации;
- в рамках единой математической модели оптимизированы параметры системы ремонта и назначенного срока службы полувагона, отвечающие критерию минимума себестоимости пробега.

На практике результаты исследований используются в качестве справочно-аналитического и методического материала, необходимого для анализа и оценки эксплуатационной надежности и безопасности грузовых вагонов, а также прогнозирования их технического состояния в межремонтном периоде и в течение срока службы.

Для диссертационной работы опытные данные взяты из автоматизированного банка данных грузовых вагонов ГВЦ ОАО «РЖД», что является объективным и достоверным основанием для получения статистических оценок. Обработка массива экспериментальных данных выполнялась с помощью программно-вычислительного комплекса Statistica 6.0 и Excel.

Данное исследование, охватывающее конкретную специфику системы эксплуатации и ремонта грузовых вагонов, представляется весьма актуальным и имеющим большое отраслевое значение.

# **1 Анализ эксплуатации грузовых вагонов в условиях реформирования отрасли, систем планового ремонта и опыта обеспечения безопасности движения поездов**

## **1.1 Анализ эксплуатации грузовых вагонов в условиях удлинения гарантийных участков технического обслуживания**

Для повышения пропускной и провозной способности станций и участков специалистами Департамента вагонного хозяйства ОАО «РЖД» проводится планомерная работа по увеличению протяженности гарантийных участков безопасного проследования грузовых поездов. На сети железных дорог в 2011 г. установлено 2422 гарантийных участка следования грузовых поездов, из них 1245 – внутридорожных и 1177 – междорожных. Средняя протяженность гарантийных участков [1] по сети дорог в 2011 г. составила 1149 км. Протяженности гарантийных участков по сети железных дорог для груженных и порожних поездов, а также динамика изменения длины гарантийных участков представлены на рисунках 1.1–1.4.

Ввод новых гарантийных участков повышенной протяженности основывается на проводимой Компанией работе по техническому оснащению и развитию основных пунктов технического обслуживания грузовых вагонов, внедрению современных средств диагностирования и контроля технического состояния подвижного состава на ходу поезда, обновления подвижного состава и проведения модернизации вагонов.

На работы, связанные с техническим оснащением пунктов технического обслуживания грузовых вагонов, в 2011 г. израсходовано 1,5 млрд. руб. (рисунок 1.5). Для реализации комплекса задач по обеспечению графика движения грузовых поездов и в рамках выполнения утвержденной программы в

2012 г. на «Развитие эксплуатационных предприятий вагонного хозяйства» было выделено 1,2 млрд. руб. [2].

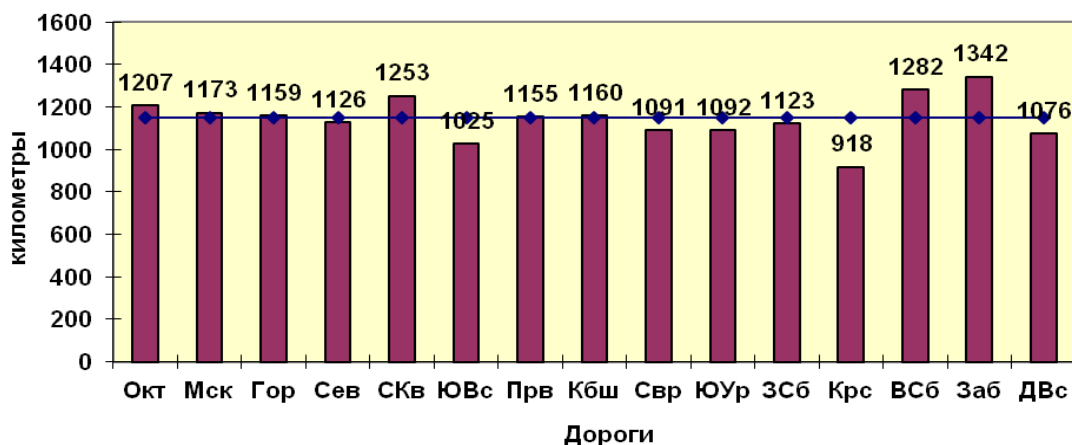


Рисунок 1.1 – Средняя расчетная протяженность гарантийных участков по состоянию на 31.12.2011 г.

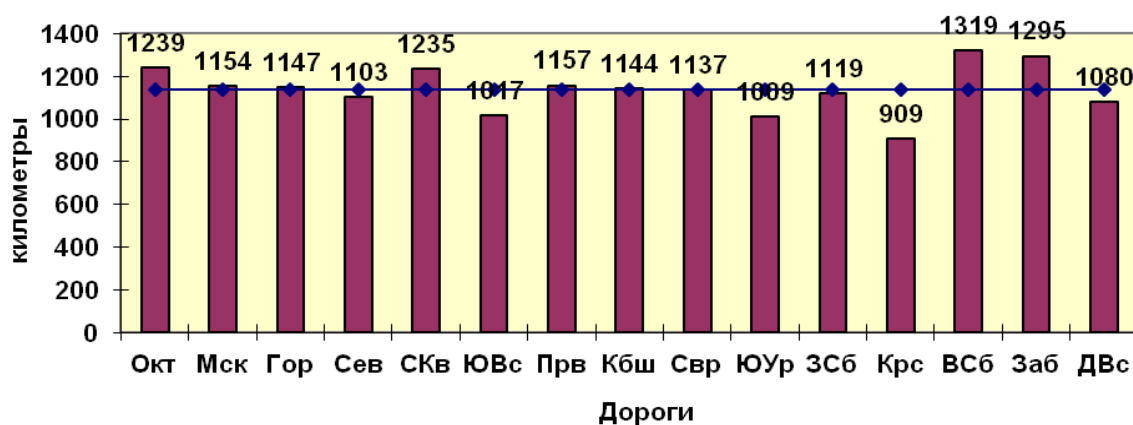


Рисунок 1.2 – Средняя расчетная протяженность гарантийных участков для грузовых поездов по состоянию на 31.12.2011 г.

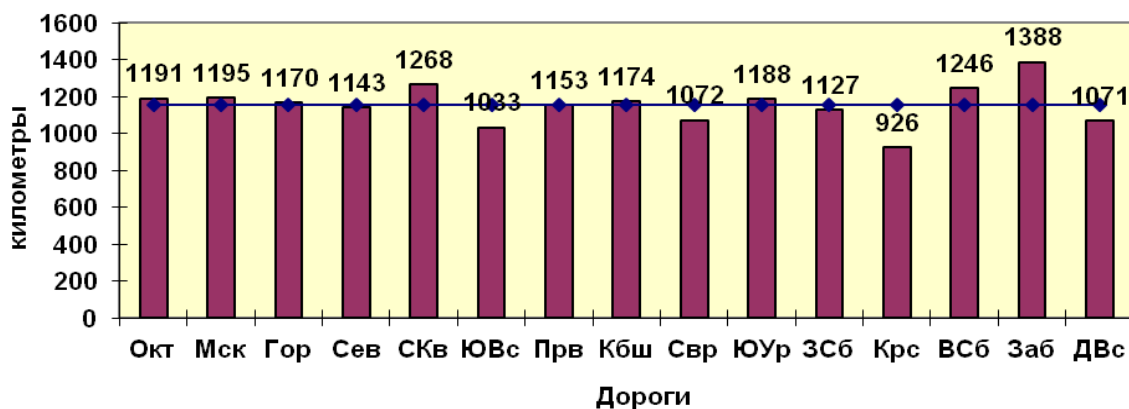


Рисунок 1.3 – Средняя расчетная протяженность гарантийных участков для порожних поездов по состоянию на 31.12.2011 г.

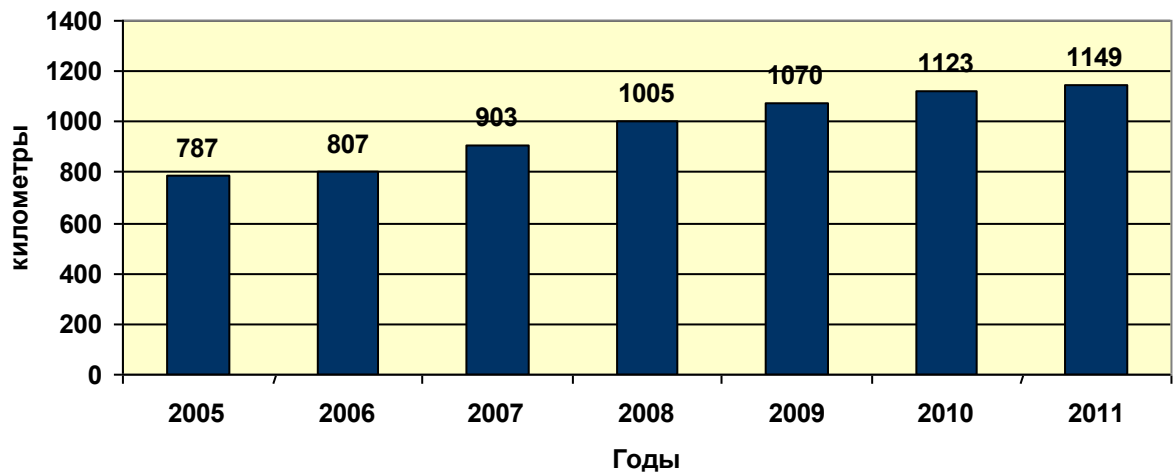


Рисунок 1.4 – Статистика изменения протяженности гарантийных участков безостановочного движения грузовых поездов

Средства направляются на совершенствование работы ПТО сортировочных станций за счет внедрения современных технологий и технических устройств, ориентированных на выявление предотказного состояния узлов и деталей вагонов, минимизацию участия непосредственного исполнителя работ в процессе оценки технического состояния вагонов и автоматизацию производственного цикла.

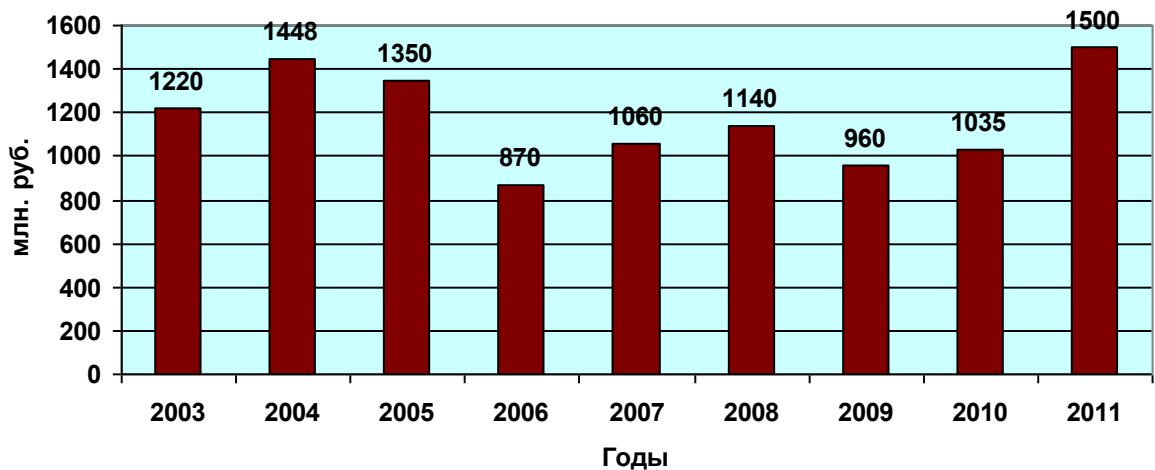


Рисунок 1.5 – Динамика изменения затрат на дооснащение пунктов технического обслуживания вагонов

Для выявления предотказного состояния узлов и деталей вагонов, поступающих в грузовых поездах, на дорогах используются такие средства диагностики, как КТСМ, комплексы КТИ, АСООД, установки УЗОТ, АСДТ-2К.

В рамках Программы повышения безопасности движения 2011 г. по вагонному хозяйству на дорогах проведена модернизация 597 приборов КТСМ-02, внедрено 22 прибора КТСМ-02, две системы акустического контроля.

Контроль нагрева буксового узла колесных пар на дорогах осуществляется приборами КТСМ. В настоящее время в эксплуатации находится 4576 пунктов контроля, на которых размещено 5129 [3] приборов КТСМ, в том числе 2840 приборов КТСМ-02, или 62 % от общего количества пунктов контроля. Все приборы объединены системой централизации АСКПС, которая позволяет осуществлять слежение за динамикой нагрева буксовых узлов. Динамика изменения средств контроля КТСМ по сети дорог представлена на рисунке 1.6.

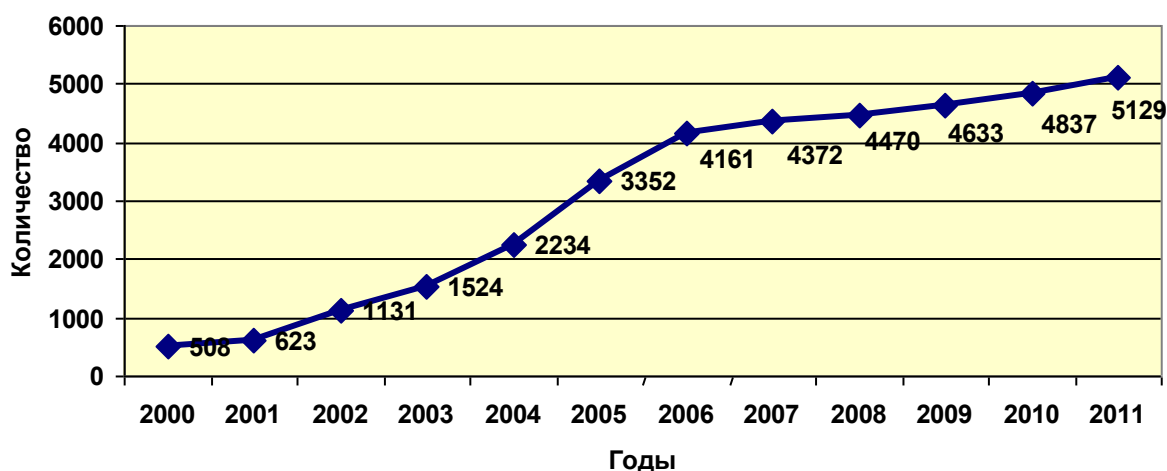


Рисунок 1.6 – Динамика изменения средств контроля на сети дорог России по годам

Среднее расстояние между линейными пунктами контроля КТСМ [4] на основных и грузонапряженных направлениях составляет 23,4 км. Модернизация приборов и внедрение нового программного обеспечения позволили в 2011 г. снизить количество необоснованных остановок поездов на промежуточных станциях на 4,3 тыс., или на 22 %, при увеличении числа

проконтролированных поездов на 2,5 %. Динамика изменения среднего расстояния между линейными пунктами контроля КТСМ представлена на рисунке 1.7.

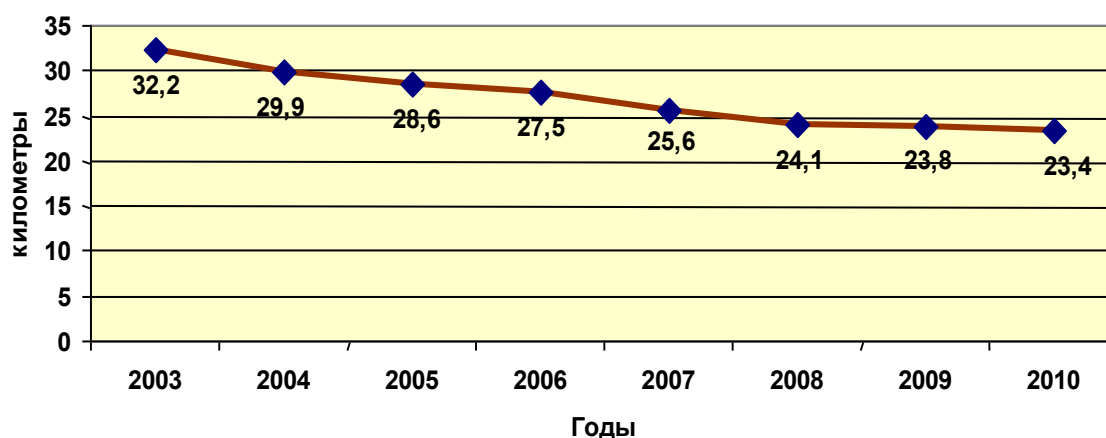


Рисунок 1.7 – Динамика изменения среднего расстояния между линейными пунктами контроля КТСМ на основных и грузонапряженных направлениях

Автоматизированный контроль геометрических параметров колесных пар вагонов в прибывающих поездах ведется комплексами КТИ. На ПТО сети дорог внедрено 62 таких комплекса, в том числе 19 на ПТО сортировочных станций.

В целях выявления дефектов буксовых узлов колесных пар на ранних стадиях развития, то есть до начала нагрева, продолжается внедрение систем акустического контроля (ПАК). В настоящее время внедрено уже семь таких систем.

Для обнаружения на ходу поезда вагонов с повышенными колебаниями, вызванными нарушением геометрии деталей ходовых частей вагона, применяются автоматизированные системы определения отрицательной динамики грузовых вагонов (АСООД). На сети дорог в эксплуатации находится 13 таких систем.

В период 2004–2008 гг. было приобретено 233 938 новых грузовых вагонов, с 2000 по 2008 гг. исключено из инвентарного парка 75 329 вагонов с просроченным сроком службы, принадлежащих ОАО «РЖД». Это позволило сократить средний возраст грузового вагона до 17,4 лет (рисунок 1.8) [5].

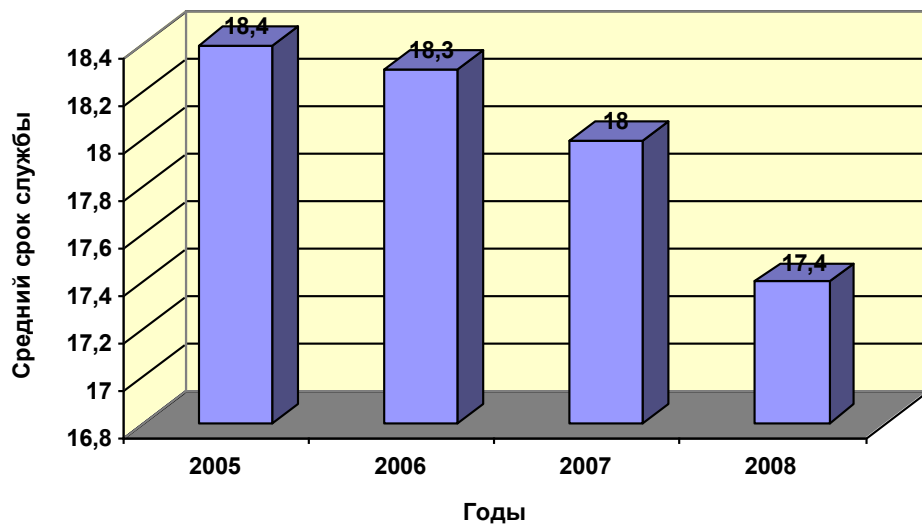


Рисунок 1.8 – Динамика изменения среднего возраста грузового вагона

Комплексный подход, включающий в себя эффективную работу средств диагностики, внедрение новых технологий подготовки поездов и обновление подвижного состава, позволит своевременно выявлять неисправности подвижного состава и тем самым повысить уровень безопасности движения, улучшить график движения поездов.

Управление вагонного хозяйства планирует в дальнейшем продолжать работу по оптимизации гарантийных участков безопасного проследования. При этом, наряду с оптимизацией технологических процессов технического обслуживания грузовых вагонов, внедрением технических средств, большое внимание уделяется и повышению надежности вагона, заложенной его конструкцией.

## **1.2 Система технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов нового поколения**

Действующие межремонтные нормативы грузовых вагонов установлены в «Положении о системе технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, допущенных в обращение на железнодорожные пути общего пользования в межгосударственном сообщении», утвержденном Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества Независимых Государств. Нормативы являются функцией интенсивности (условий) использования вагонов в перевозочном процессе и показателей надежности элементов его конструкции и составных частей, заложенных в вагон на стадии проектирования.

До последнего времени разработка видов и периодичности технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов осуществлялась на основе сбора и анализа статистических данных по инвентарному парку вагонов как наиболее представительной совокупности, обеспечивающей получение объективных сведений о фактических условиях использования вагонов в перевозочном процессе и их техническом состоянии. При этом вагон рассматривался в качестве единого технического изделия, отказ одной из составных частей которого оценивался как отказ вагона в целом.

Именно эта информация использовалась специалистами ЦНИИ МПС, а позже ВНИИЖТа при определении необходимых численных значений межремонтных нормативов, обеспечивающих безопасную эксплуатацию вагонов. Эти нормативы закладывались вагоностроительными заводами и их конструкторскими бюро в нормативно-техническую документацию при создании новых моделей вагонов или их составных частей. Темпы обновления модельного ряда были достаточно медленными, поэтому корректировка системы проводилась с периодичностью примерно один раз в десять лет, по

мере изменения требований к проектированию вагонов и насыщения вагонного парка новыми моделями вагонов.

Положение изменилось с переходом экономики на рыночные отношения и проводимой структурной реформой железнодорожного транспорта, предусматривающей устранение самого понятия «инвентарный парк» за счет образования большого количества собственников подвижного состава, что привело к созданию конкурентной среды в области вагоностроения.

Данное обстоятельство требует от производителей подвижного состава ускорить темпы обновления модельного ряда при одновременном, более гибком, подходе к созданию новых конструкций вагонов, отвечающих интересам потребителей как в части технических характеристик вновь создаваемых моделей вагонов (грузоподъемность, вес тары, объем кузова и т.д.), так и в затратах на ее содержание.

За последние годы создано достаточно большое количество новых моделей вагонов и их составных частей. Число моделей вагонов превысило одну тысячу, а число моделей тележек приближается к сорока моделям. Не ожидается снижение темпов обновления модельного ряда вагонов в ближайшее время.

В сложившихся условиях необходима разработка нового, более оперативного механизма по обоснованию показателей надежности и межремонтных нормативов новых моделей вагонов и их составных частей (узлов и деталей), допущенных к использованию на путях общего пользования. В этой связи актуальной является задача объективной оценки соответствия заявленных изготовителем показателей надежности новых вагонов фактически реализованным в эксплуатации. Основой для такой сравнительной оценки могут стать результаты подконтрольной эксплуатации вагонов новых моделей.

Задачи, поставленные перед транспортным машиностроением Стратегией развития железнодорожного транспорта Российской Федерации до 2030 г. и согласованной с ней Стратегией развития транспортного машиностроения до 2015 г., требуют кардинального улучшения технико-экономических показателей железнодорожной техники. Полное удовлетворение потребностей

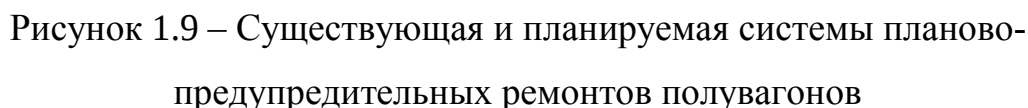
промышленности и населения страны в перевозках с одновременным снижением их себестоимости зависит от внедрения интенсивных технологий перевозочного процесса. Эти технологии неразрывно связаны с повышением массы и скоростей движения поездов, использованием более емких габаритов, увеличением грузоподъемности и вместимости вагонов.

В мировой практике для оценки эффективности приобретения сложных технических изделий производственного назначения все более широко применяется методика оценки стоимости жизненного цикла (СЖЦ). Фактически данная методология представляет собой формирование бизнес-плана приобретения и эксплуатации отдельного технического изделия или группы изделий с глубиной прогнозирования, охватывающей весь срок их эксплуатации.

Особенностью применения методологии СЖЦ является то, что она позволяет уйти от затратных методов ценообразования, но требует проведения обширных исследований по определению взаимосвязи между техническими характеристиками подвижного состава и экономическими показателями его эксплуатации. При этом вполне закономерно, что цена на более производительную технику должна быть выше. Причем это в интересах как производителя, так и потребителя.

Понимая необходимость повышения качества и надежности железнодорожной техники, включая узлы и компоненты, а также необходимость перехода предприятий транспортного машиностроения на инновационные и энергосберегающие технологии, приходим к выводу, что развитие сферы железнодорожного транспорта невозможно без устойчивого развития национального транспортного машиностроения.

Одно из направлений инновационной деятельности – создание железнодорожного подвижного состава нового поколения с улучшенными потребительскими свойствами за счет совершенствования технических характеристик. На рисунке 1.9 [6] приведены структуры ремонтов полувагонов



Однако, по данным ОАО «РЖД», ежегодно на дорогах России каждый грузовой вагон рабочего парка в среднем 2–3 раза в год поступает в отцепочный (неплановый) ремонт. Так, в среднем за год отцепляется 1250 тыс. вагонов [7]. Основная причина такого положения – низкое качество проведения плановых видов ремонта. Из-за несоответствия нормативных параметров элементов вагона (а это напрямую связано с качеством ремонта), то есть технологических неисправностей, отцепляется в среднем 27 %, эксплуатационных неисправностей – 59 % и из-за повреждений при погрузо-разгрузочных операциях и маневровой работе – 14 % вагонов. На рисунке 1.10

приведены затраты на приобретение и плановые ремонты различных моделей полувагонов.

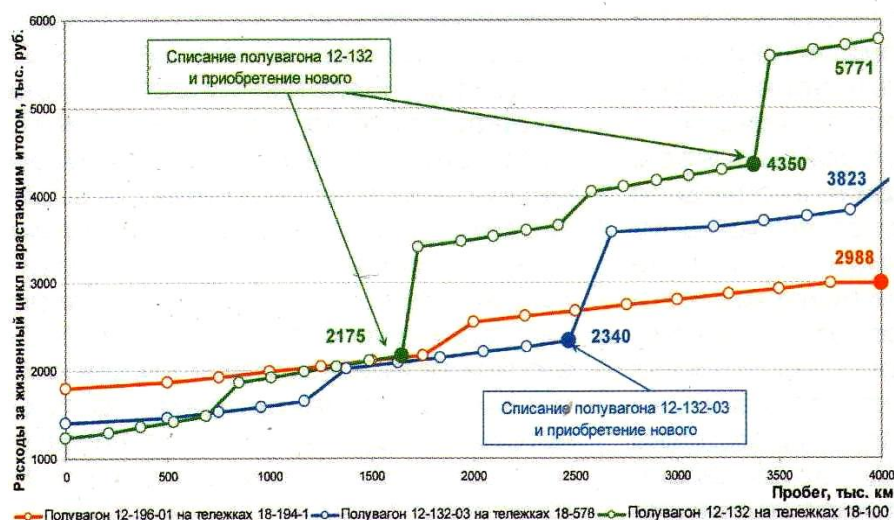


Рисунок 1.10 – Расходы на приобретение и плановые ремонты за жизненный цикл полувагонов

Из-за несоответствия технологических параметров вагонов в эксплуатации нормативным, что вызывает возникновение отказов, подвижной состав отправляют на внеплановый ремонт. Больше всего отцепок происходит по кузову – 41 %, тележкам – 14 %, тормозному оборудованию – 12 %, буксовому узлу – 6 %, колесным парам – 22 %, автосцепному оборудованию – 5 %. Все это говорит о низком качестве ремонта грузовых вагонов [7, с. 26].

Главная цель новых разработок – увеличение межремонтного пробега. С этой целью для разработок грузовых вагонов нового поколения используют принцип модульной компоновки с рациональной унификацией базовых элементов и систем, снижающий стоимость разработки, а также позволяющий намного уменьшить эксплуатационные затраты на содержание и ремонт вагонов.

Использование унифицированных базовых модулей позволит не только снизить стоимость производства вагонов, но и эксплуатационные затраты на ремонт и техническое обслуживание, а также создать в различных регионах

России сервисные центры, в которых будет производиться восстановительный ремонт деталей и узлов вагона. К ним, прежде всего, относятся кассетные роликовые подшипники, автосцепки, поглощающие аппараты.

Четырехгодовой цикл периодичности проведения ремонта вагонов обусловлен необходимостью замены резиновых элементов в тормозной системе. После разработки и внедрения масломорозостойких резиновых элементов с повышенным сроком службы периодичность ремонта вагонов будет увеличена.

Как известно, на отечественных железных дорогах издавна в основу системы технического обслуживания и ремонта был положен критерий календарной продолжительности эксплуатации вагона. При такой системе каждый вагон подлежит плановому ремонту через определенный интервал времени, исчисляемый от даты его постройки или последнего планового ремонта.

Достоинством системы является возможность соблюдения кратности нормативного срока службы вагона и длительности его межремонтных периодов, простота и высокая достоверность прогнозирования вывода вагонов в ремонт и потребности в его обеспечении трудовыми, материальными и финансовыми ресурсами. Это значительно упрощает долгосрочное и оперативное планирование, а следовательно, и управление вагоноремонтным хозяйством, позволяет ритмично загружать вагоноремонтную базу.

Недостаток системы ремонта по календарной продолжительности – вывод того или иного вагона в ремонт независимо от выполненного им объема работы и без учета обеспечения его сохранности при погрузо-разгрузочных и маневровых работах. Другими словами, вагон может вообще не участвовать в перевозочном процессе, но по истечении установленного межремонтного периода все равно должен быть подан в плановый ремонт. В условиях стабильного уровня использования инвентарного вагонного парка этот недостаток не имеет особого значения, поскольку все вагоны в равный промежуток времени выполняют примерно одинаковый объем работы и,

следовательно, имеют примерно один и тот же уровень физического износа на стадии вывода в ремонт.

Существенным этот недостаток становится при нарушении ритмичности предъявления грузов к перевозкам или избыточности вагонного парка. В этих случаях резко нарушается стабильность полезного использования вагонов во времени, а уровень их физического износа при выводе в ремонт колеблется в широких пределах. Это влечет за собой подачу части вагонов в ремонт с неиспользованным техническим ресурсом и приводит к необоснованным ремонтным затратам. Например, из-за колебаний интенсивности эксплуатации цистерн, вагоны даже одного года выпуска, к назначенным срокам постановки в ДР имеют различный уровень износа и других повреждений. Поэтому всегда имеется возможность (которая реализуется на практике на совершенно законных основаниях) отобрать в ДР вагоны с наименьшими трудоемкостями. Вагоны же, которые в первую очередь нуждаются в ДР, попадают в него с большим опозданием. Последнее сопряжено не только с дополнительными затратами на ремонт и с исключением этих вагонов из системы полноценного использования в перевозочном процессе, но и приводит к снижению уровня безопасности.

Следует отметить, что потеря вагоном работоспособности и потребительских свойств в период эксплуатации – неотвратимый процесс, протекающий с большей или меньшей интенсивностью в зависимости от выполненного объема работ, долговечности материалов, примененных в конструкции вагона, и достигнутого уровня обеспечения сохранности вагона при погрузочно-разгрузочных и маневровых работах. Чем жестче условия эксплуатации и ниже уровень сохранности, тем быстрее физически изнашивается вагон. В конечном счете это приводит к необходимости исключения вагона из инвентаря как неспособного выполнять заданные функции. Ни одна система технического обслуживания и ремонта, какой бы эффективной она ни была, не в состоянии полностью устранить последствия физического и морального износа. Однако она может значительно сократить

темпы их развития и тем самым обеспечить работоспособное состояние вагона в течение его нормативного срока службы.

Основное назначение системы ремонта – максимальное сокращение числа внезапных отказов вагонов в эксплуатации за счет своевременного контроля, обслуживания и ремонта. Однако это эффективно только тогда, когда обеспечивается достаточно близкое соответствие планируемых мер и реальной в них необходимости. Поэтому система ремонта должна быть основана на объективных закономерностях, которые зависят от условий эксплуатации вагона и показателей его надежности (безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости), определяющих объем плановых работ и их характер.

Для сокращения необоснованных затрат на содержание вагонов необходимо обеспечить их подачу в плановый ремонт с предельно допустимым физическим износом узлов и элементов. Поэтому альтернативой календарному критерию может служить комбинированный критерий, ограничивающий межремонтный период не только календарной продолжительностью использования вагона в перевозочном процессе, но и показателем выполненного объема работы. Выводить вагон из эксплуатации следует тогда, когда он выработал любой из этих двух нормативов. Если выработан первичный норматив, вагон надо подавать на вагоноремонтное предприятие для контроля его физического износа с полной разборкой и ремонтом. Если выработан вторичный норматив, вагон должен поступать на вагоноремонтное предприятие для выявления его физического износа с частичной разборкой. Необходимым условием реализации комбинированного критерия является создание развитой информационно-справочной базы данных об использовании вагонного парка, учитывающей всю совокупность факторов, влияющих на его техническое состояние. Наличие такой базы позволит организовать систему ремонта с учетом фактической интенсивности эксплуатации вагонов по типам, конструктивным особенностям и прочностным характеристикам, обновлять

парк с учетом фактической амортизации средств на приобретение, ремонт и модернизацию этого подвижного состава.

При разработке такой системы следует иметь в виду три основные цели: оптимизацию трудовых, материальных, энергетических и финансовых затрат и ресурсов на техническое обслуживание и ремонт; обеспечение максимального уровня готовности вагонов к работе; ритмичное обеспечение вагоноремонтной базы объектами ремонта. Для оптимизации эксплуатационных затрат каждый вагон надо подавать в плановый ремонт в зависимости от выполненного им объема работы, идентифицированного с соответствующим объемом неисправностей и трудоемкостью их устранения. Если вагон требует ремонта, а средств на его производство «не заработал», то он либо поврежден в эксплуатации, либо имеет низкое качество предшествующего ремонта (изготовления). В обоих случаях необходимо возмещать утраченный ресурс вагона за счет штрафов, налагаемых на виновников повреждения или некачественного ремонта (изготовления).

Известно, что ежегодные усредненные затраты труда на техническое обслуживание и текущий ремонт в расчете на один вагон составляют более 200 чел.-час, что в 2-3 раза больше трудоемкости деповского ремонта. Эффективность труда работников, занятых плановым ремонтом, в 20-30 раз выше, чем работников, занятых текущим ремонтом на ПТО. Контингент работников, занятых ТО и ТР, составляет примерно 40 % от общего штата работников ВХ, а контингент работников, занятых плановым ремонтом, – всего 6 %. Так что основная масса работников ВХ работает крайне неэффективно даже по меркам деповского ремонта [8]. Согласно существующим правилам основной объем работ на станциях осуществляется в безотцепочном варианте. Вагоны, требующие ремонта, располагаются каждый раз случайным для работников образом на обширной территории станции. Ремонтники вынуждены тратить силы и время на перемещение пешком от одного неисправного вагона к другому. В день они проходят до 25 км с инструментом весом примерно 16 кг. Из-за больших затрат времени на переходы и ожидания прихода поездов

осмотрщики-ремонтники заняты восстановлением работоспособности вагонов в течение времени, которое не превышает 30-40 % от продолжительности смены.

Низкую эффективность существующей технологии ТО и ТР вызывает разбросанность рабочих позиций на обширной территории станции, в результате чего невозможно обеспечить приемлемый уровень механизации труда, а также плохие, вредные для здоровья условия труда – круглосуточная работа под открытым небом при любой погоде, груз ответственности за возможные транспортные происшествия, постоянная угроза травматизма и большие физические нагрузки. При существующей системе технической эксплуатации подвижного состава вагонники обязаны подстраиваться под технологии организации перевозочного процесса. Вагонные службы вкладывают огромные средства и силы на поддержание технического состояния вагонов, а эффект получает транспорт в целом. Другими словами, возможности мотивации труда вагонников весьма ограничены, что следует расценивать как еще одну причину невысокой эффективности исполнения технического обслуживания и текущего ремонта. Первопричина низкой эффективности заключена в том, что основные объемы работ на станциях производятся в безотцепочном варианте, а это устраивает всех, кроме вагонников. Выход из положения – осуществлять основные объемы работ в отцепочном варианте, желательно на высокомеханизированных технологических линиях МПРВ.

Возникает много проблем с качественным исполнением ремонтов крупного объема в связи с недостаточным обеспечением ремонтного производства материалами и запасными частями, дефицитом идей и конкретных апробированных технологий, с помощью которых реальна индустриализация методов деповского ремонта.

Кроме того, система ТОР должна приспосабливаться к конструктивным особенностям вагонов. Ведь, как говорят, важнейшим постулатом здоровой экономики является следующее утверждение: потребитель должен диктовать

свои условия изготовителю, а не наоборот. На практике во взаимоотношениях между вагоностроением и вагонным хозяйством наблюдается обратное. Кажущаяся нехватка вагонов отучила заказчика даже пытаться оказывать давление на изготовителя, скажем, путем изменения покупной цены на вагон или путем соответствующей политики распределения заказа на новую технику между вагоностроительными заводами.

Система ремонта вагонов подвергается достаточно частому изменению, идет непрерывный поиск новых форм и методов организации ремонта и технического обслуживания. Этот поиск продолжается до сих пор, обусловлен совершенствованием вагонных конструкций и тяги поездов, появлением средств технической диагностики и внедрением новых информационных технологий, появлением новых знаний и более подготовленных в профессиональном отношении работников и т. п. Кроме указанных объективных факторов на эволюцию системы ремонта вагонов влияли и будут влиять так называемые субъективные факторы: ошибки в кадровой политике, проводимой в отрасли, политический заказ, отсутствие должной конкуренции предлагаемых идей, технологий, методов и т. п.

Итак, на сегодняшний день система ТОР имеет следующие недостатки:

- технология исполнения основных работ отражена во многих нормативных документах, разработанных в разное время разными группами специалистов и поэтому не всегда увязанных между собой, нет единой системы отраслевой научно-технической документации, регламентирующей всю совокупность системы ТОР вагона;

- основные объемы работ по ТР стремятся проводить без отцепки вагона от состава, тем самым обрекая пункты текущего отцепочного ремонта работать с крайне низкой производительностью;

- существует противоречие между требованиями ПТЭ и возможностью работников обеспечить безаварийное проследование вагонов по гарантийному участку;

- существующая система постановки в ДР по наработке принципиально уступает организации ремонтов по фактическому техническому состоянию;
- отсутствует расчетное обоснование структуры действующей системы ремонта, а также доступных и корректных исходных данных, по которым можно было бы оптимизировать параметры отрасли в целом;
- высокая повреждаемость вагонов службой движения, грузовладельцами и клиентурой.

Немаловажная роль вагонному хозяйству отведена в обеспечении безопасности движения. В числе первоочередных мер по ликвидации «узких мест» в состоянии безопасности – предупреждение нарушений безопасности движения за счет повышения качества ремонта и ТО подвижного состава, модернизация тележки, широкое внедрение средств дефектоскопии ответственных узлов и деталей.

### **1.3 Обзор отечественного и зарубежного опыта организации технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов. Принципы ремонта и технического обслуживания других видов транспорта и технологического оборудования**

#### **1.3.1 Существующая система технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов на железных дорогах Российской Федерации**

Система технического обслуживания и ремонта вагонов сложилась исторически, удовлетворяя на каждом этапе развития определенным требованиям, связанным с уровнем развития транспорта и его экономическими возможностями.

Специалистов вагонного хозяйства в течение многих лет беспокоит проблема поиска и внедрения более эффективных систем технического обслуживания и ремонта вагонов. Это видно из того, как часто система ремонта вагонов подвергается изменениям. Идет непрерывный процесс поиска новых форм и методов организации ремонта вагонов.

На отечественных железных дорогах в разные периоды существовали различные виды и сроки ремонта вагонов. Установленной в 1934 г. системой ремонта вагонов предусматривалось три вида ремонта: капитальный ремонт (КР) – с периодичностью 6 лет; средний ремонт – с периодичностью 4 года (для 4-осных вагонов) и текущий ремонт. В 1936 г. было введено годовое освидетельствование грузовых вагонов, в последствии получившее название годовой ремонт [9]. По объемам работ и по своему назначению этот вид ремонта сохранился до наших дней, но с 1961 г. он называется деповским. Его главное предназначение – это контроль и профилактические действия по отношению к деталям, ответственным за безопасность движения и трудно контролируемых в эксплуатации.

В дальнейшем порядок плановых ремонтов грузовых вагонов не изменялся до 1962 г. Только в 1955 г. изменилась периодичность ремонтов в сторону удлинения: капитальный ремонт стали проводить через 10 лет, а средний ремонт через 5 лет [9, с. 55].

В 1962 г. приказом N 40/Ц была введена СТОР, предусматривающая два вида ремонта – заводской ремонт (ЗР) и деповской ремонт (ДР), при этом должны были учитываться особенности эксплуатации различных типов грузовых вагонов.

Качественно новой особенностью приказа N 36Ц от 13 августа 1971 г. стало то, что в нем впервые за много лет, помимо ДР и ЗР, были названы другие компоненты СТОР – текущий безотцепочный, текущий отцепочный ремонты, технический осмотр, техническая ревизия.

Приказ N 32Ц от 22 сентября 1980 г. является в определенном смысле этапным для вагонного хозяйства. Впервые была введена научно-обоснованная

периодичность плановых ремонтов грузовых вагонов, предусматривающая дифференцированный подход к вагонам как к объектам с различной степенью эксплуатации и сроком службы. Эта система ремонта не претерпела существенных изменений до настоящего времени.

С 1985 г. подразделения по техническому обслуживанию и ремонту пассажирских вагонов переданы из служб вагонного хозяйства дорог в ведение пассажирских служб, вследствие чего изменились задачи, структура и функции служб вагонного хозяйства и пассажирских.

Для грузовых вагонов система технического обслуживания и ремонта формируется приказом МПС N 7ЦЗ от 18.12.1995 г.

Упомянутые приказы МПС устанавливали лишь структуру и периодичность плановых ремонтов крупного объема, а не систему ремонта. В приказе не отражены две другие проблемы СТОР – технология и организация выполнения ремонтных работ, и даже нет ссылки на соответствующие нормативные документы.

Это обстоятельство частично учтено в приказе N 4Ц от 19 января 1990 г. «О введении новой периодичности плановых ремонтов грузовых вагонов». СТОР, регламентированная этим приказом, являлась качественно новым прогрессивным явлением за счет принятия стратегии ДР по техническому состоянию, правда, с некоторыми оговорками. Руководителям депо разрешалось производить отсрочку плановых видов ремонта вагонам, обеспечивающим по своему техническому состоянию безопасность движения и сохранность грузов, на срок не более 6 месяцев. Однако нововведение просуществовало недолго. В 1995 г. согласно приказу МПС N 7ЦЗ от 18 декабря 1995 г. была снова установлена стратегия ДР по календарной наработке. В последние годы активизировались работы, направленные на совершенствование системы ремонта, что вызвано острой необходимостью сокращения расходов на техническое содержание парка вагонов.

Совершенство той или иной системы технического обслуживания и ремонта определяется степенью взаимодействия между существующим

процессом изменения технического состояния объекта и процессом его технической эксплуатации, предназначенным для поддержания работоспособности. Установлено, что наиболее тесную связь между этими процессами обеспечивает система, основанная на стратегии ремонта по состоянию.

Применительно к понятию СТОР подвижного состава стратегия – это совокупность принятых принципов, правил, управляющих воздействий, определяющих комплексное развитие эксплуатационных свойств конструкции подвижного состава, методов организации и производственно-технической базы. Данное определение стратегии отражает необходимость системного подхода к решению проблемы эффективности СТОР.

Ремонт по техническому состоянию – это ремонт, при котором контроль технического состояния выполняется с периодичностью и в объеме, установленными в нормативно-технической документации, а объем и момент начала ремонта определяются техническим состоянием объекта.

Правомерность и жизнеспособность подобного вида ремонта полностью подтверждены Госстандартом России, а также научными исследованиями и практическим опытом. В тяжелые для транспорта послевоенные годы, вплоть до 1995 г., ДР и КР по состоянию обеспечивали надлежащий технический уровень подвижного состава. Наиболее вероятны две причины отхода от этой стратегии. Первая – характерное для того времени стремление к жесткому планированию, которое лишало всю достаточно сложную систему управления техническим состоянием грузовых вагонов (с помощью ремонтов) обратных связей. (Отсутствие обратных связей обязательно приводит объект управления к экономической несостоятельности.) Вторая причина – приписки в условиях отсутствия глобальной системы контроля над ремонтом вагонов, которая появилась относительно недавно в виде отраслевой информационной системы централизованного пономерного учета грузовых вагонов.

Вопрос перехода на ремонт подвижного состава по его фактическому состоянию неоднократно обсуждался на коллегиях МПС. В результате в конце

1998 г. на коллегии МПС N 26 от 22-23 декабря 1998 г. было принято решение о разработке концепции перехода на ремонт подвижного состава по фактическому состоянию. На сети железных дорог стали проводиться работы по опытному внедрению системы ремонта подвижного состава по состоянию, в частности для тягового подвижного состава. В эксперименте задействовано 44 локомотивных депо пятнадцати железных дорог. Основные цели указанного эксперимента – проверка эффективности системы ремонта тягового подвижного состава по состоянию; накопление опыта организации такой системы и оценка качества используемых в базовых депо технических средств диагностирования (ТСД).

Однако в результате МПС был предложен усложненный вариант стратегии деповского ремонта по наработке – так называемая двухпараметрическая стратегия ДР. Данная стратегия конкретизирована в Указаниях МПС N К-2746У от 06.12.1999 г.

При стратегии деповского ремонта по пробегу решение об отцепке вагона в ремонт принимается по показаниям трафарета и по данным ГВЦ МПС о моменте достижения пробега предельной величины. На самом деле решение принимается вне зависимости от технического состояния конкретного вагона.

В качестве критерия для постановки вагона в ремонт по техническому состоянию предлагалось принять суммарную наработку, определяемую по выработке назначенного ресурса одной или несколькими сборочными единицами вагона, замена которых при техническом обслуживании нецелесообразна. При этом суммарная наработка определяется работой вагона в т-км брутто. В данном случае происходит подмена одной стратегии ремонта другой. Несомненно, предлагаемая стратегия ремонта лучше, чем по календарному сроку или пробегу, но это стратегия не по техническому состоянию. Нельзя согласиться и с утверждением, что остаточный ресурс можно определить как разность между назначенным (проектным) и израсходованным ресурсами, поскольку назначенный ресурс определяется в нормированных условиях, а израсходованный ресурс – это реальная наработка

до предельного технического состояния.

В соответствии с системой ремонта вагонов по календарной наработке вид ремонта определяется не техническим состоянием вагона, а только временем, прошедшим с даты его последнего ремонта. Поэтому нередко наблюдались случаи, когда вагоны, работавшие в различных условиях, после одновременного ремонта снова попадали в ремонт, хотя некоторые из них совершенно в нем не нуждались.

Годовой, как и всякий вид отцепочного ремонта, требовал обязательного изъятия вагона из рабочего парка, подачи его в депо для устранения дефектов, разборки отдельных узлов вне зависимости от их состояния. А всякая разборка, как правило, влекла за собой повреждение болтов, валиков, шайб, чек, шплинтов, преждевременный выход из строя деталей, фактически не требовавших замены или ремонта. Таким образом, производилась большая, ничем не оправданная работа, поглощающая огромные средства. По данным ГВЦ МПС с этой целью во многих депо создавались так называемые технологические запасы объектов ремонта из преждевременно исключенных из эксплуатации вагонов. А в это время вагоны, требующие длительного ремонта, перемещались из депо в депо или стояли в очереди в ожидании ремонта.

При стратегии деповского ремонта, регламентированной Указаниями МПС N К-2746У от 06.12.1999 г., решение об отцепке вагона в ремонт принимается по показаниям трафарета и по данным ГВЦ МПС о моменте достижения пробега предельной величины. На самом деле решение заранее запрограммировано, и принимается, как и прежде, вне взаимосвязи с техническим состоянием конкретного вагона. Нет гарантии, что в деповской ремонт не будут попадать вагоны, которым он еще не требуется.

Давний спор по вопросу предпочтительности той или иной стратегии ремонта (по техническому состоянию или по наработке) продолжается и сегодня.

Для объективной оценки преимущества каждой из стратегий, необходимо не только выявить положительные и отрицательные стороны стратегий, но и

разработать методику количественной оценки влияния той или иной стратегии на показатели работы вагонного хозяйства или даже транспорта в целом.

В 1999 г. парк грузовых вагонов был переведен на новую систему ремонта с учетом фактически выполненной работы (километры пробега). Вагоны должны поступать в деповский ремонт после величины пробега 110 тыс. км, но не позднее 2 лет от предыдущего деповского ремонта (для большинства типов грузовых вагонов).

На сегодняшний день основным документом, регламентирующим виды и сроки технического обслуживания и ремонта, грузовых вагонов является «Положение о системе технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, допущенных в обращение на железнодорожные пути общего пользования в международном сообщении» (Утверждено Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества, протокол N 47 от 22-23 ноября 2007 г.).

Действующая система технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов предусматривает следующие виды технического обслуживания и ремонта:

- техническое обслуживание - ТО;
- текущий отцепочный ремонт - ТР-1;
- текущий отцепочный ремонт - ТР-2;
- деповской ремонт - ДР;
- капитальный ремонт - КР;
- капитальный ремонт с продлением срока полезного использования – КРП.

Под техническим обслуживанием вагона понимается комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности грузового вагона в сформированных или транзитных поездах, а также порожнего вагона при подготовке к перевозкам без его отцепки от состава или группы вагонов.

Текущий отцепочный ремонт вагона ТР – это ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности грузового вагона с

заменой или восстановлением отдельных частей, переводом вагона в нерабочий парк и подачей на специализированные пути.

По состоянию грузового вагона, месту обнаружения его отказа и отцепки, текущий отцепочный ремонт подразделяется:

1) текущий ремонт вагона ТР-1 – ремонт порожнего вагона, выполняемый при его подготовке к перевозке с отцепкой от состава или группы вагонов, подачей на специализированные пути и переводом в нерабочий парк;

2) текущий ремонт вагона ТР-2 – ремонт груженого или порожнего грузового вагона с отцепкой от транзитных и прибывших в разборку поездов или от сформированных составов с переводом его в нерабочий парк и подачей на специализированные пути.

Деповской ремонт вагона (ДР) – это ремонт, выполняемый для восстановления исправности и частичного восстановления ресурса вагона с заменой или восстановлением составных частей ограниченной номенклатуры и контролем технического состояния составных частей.

Капитальный ремонт вагона (КР) – это ремонт, выполняемый для восстановления исправности полного или близкого к полному восстановлению ресурса вагона с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые.

Капитальный ремонт с продлением срока полезного использования (КРП) – это контроль технического состояния всех несущих элементов конструкции вагона с восстановлением их назначенного ресурса, заменой или восстановлением любых его составных частей, включая базовые и назначением нового срока службы.

Текущие отцепочные ремонты (ТР-1 и ТР-2) являются неплановыми видами ремонта, постановка на которые осуществляется без предварительного назначения. Каждый случай отцепки грузового вагона в ТР-2 подлежит расследованию установленным порядком.

Деповской (ДР) и капитальный (КР) ремонты являются плановыми, постановка на который осуществляется в соответствии с требованиями

нормативно-технической документации.

Капитальный ремонт с продлением срока полезного использования (КРП) является неплановым (без предварительного назначения) и осуществляется по техническим условиям, согласованным установленным порядком.

Грузовой вагон может быть поставлен на внеплановый деповской или капитальный ремонт и по техническому состоянию. Если грузовой вагон отцепляется в текущий ремонт после предыдущего планового ремонта в пятый раз, то такой вагон направляется на внеплановый деповской ремонт.

Нормативы периодичности производства деповских ремонтов установлены по разным критериям:

1) комбинированному критерию, учитывающему фактически выполненный объем работ (пробег вагона) и календарную продолжительность использования вагона от постройки (планового ремонта) до момента подачи вагона в первый или последующий плановые ремонты;

2) единичному критерию календарной продолжительности эксплуатации вагона от постройки (планового ремонта) до момента подачи вагона в первый или последующий плановые ремонты.

Комбинированный критерий применяется для вагонов восьмизначной нумерации, используемых для перевозки грузов по путям общего пользования, свойственных их моделям и конструктивным особенностям, зарегистрированных установленным порядком в Автоматизированном банке данных парка грузовых вагонов ИВЦ ЖА и переведенных по решению железнодорожной администрации на систему технического обслуживания и ремонта с учетом фактически выполненного объема работ (пробега вагона).

Для остальных вагонов применяется критерий календарной продолжительности межремонтного периода (ремонт через фиксированный срок).

При ремонте по комбинированному критерию межремонтный срок задается как в годах, так и по пробегу.

Трудностей с учетом пробега вагона при организации ремонта по

комбинированному критерию не возникает, так все данные о работе вагона стекаются в главный вычислительный центр (ГВЦ), расположенный в Москве.

При использовании критерия календарной продолжительности задается только межремонтный срок эксплуатации с момента последнего планового ремонта в годах. Пробег вагона не учитывается.

По комбинированному критерию (то есть с учетом фактического пробега вагона) проводятся только деповские ремонты. Капитальные ремонты проводятся только по критерию календарной продолжительности, через фиксированные промежутки времени.

В 2010 г. ПКБ ЦВ направило в ОАО «РЖД» предложение по организации ремонта вагонов чисто по пробегу, без учета календарного времени с момента последнего планового ремонта. Реализация данного предложения требует внесения изменений в действующую систему технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, причем данные вопросы находятся в компетенции министерства транспорта Российской Федерации.

Для большинства грузовых вагонов деповской ремонт проводится через 110 тыс. км пробега.

Грузовым вагонам, оборудованным тележками модели 18-100 с износостойкими элементами в узлах трения (модернизированными по проекту М1698 и прошедшими ремонт в соответствии с РД 32 ЦВ 072-2009), норматив пробега после производства деповского ремонта до следующего планового ремонта устанавливается в размере 160 тыс. километров при сохранении предельной календарной продолжительности межремонтного периода.

Установка износостойких элементов в узлы трения тележки 18-100 увеличивает межремонтный срок по пробегу, но не изменяет календарного срока в годах. Данное положение не выгодно собственникам подвижного состава, у которых вагоны имеют низкую интенсивность эксплуатации и поэтому при вложении средств в модернизацию тележек вагона по проекту М1698 количество деповских ремонтов не изменяется.

Текущий ремонт вагона производится эксплуатационными вагонными

депо, которые осуществляют контроль и поддержание технического состояния вагонов в эксплуатации. Депо ремонт производится ремонтными вагонными депо. Ремонтные вагонные депо, по договору с эксплуатационными вагонными депо, осуществляют ремонт неисправных узлов, демонтированных с вагонов при текущем ремонте.

Капитальный ремонт должен производиться на заводах и предприятиях, имеющих разрешение на проведение данных работ. В настоящее время большинство вагонных депо также имеют право на проведения капитального ремонта. Некоторые ремонтные заводы производят как капитальный, так и депо ремонт.

Существуют предприятия, осуществляющие как строительство новых вагонов, так и капитальный, депо ремонт (ОАО «Ружиммаш»).

Вагоноремонтные депо проектировались специализированными под ремонт двух-трех типов грузовых вагонов. В настоящее время специализация вагонных депо нарушена, и вагоноремонтные депо ремонтируют практически все типы грузовых вагонов.

Так как вагоноремонтные депо ранее не производили ремонт колесных пар со сменой элементов (в вагоноремонтных депо отсутствует оборудование для распрессовки и запрессовки колес на оси), при некоторых вагоноремонтных депо были созданы вагонно-колесные мастерские (ВКМ).

Депо, не имеющие в своем составе ВКМ, отправляют колесные пары на ремонт со сменой элементов в ВКМ или на вагоноремонтный завод.

Ремонт производится независимо от технического состояния вагона. Даже если вагон находится в идеальном состоянии, он должен обязательно пройти ремонт.

Большинство вагоноремонтных депо были построены в 50-70 гг. 20 в. Тогда депо не разделялись на ремонтные и эксплуатационные. Депо ремонтировали грузовые вагоны (тогда в депо производился только депо ремонт) и осуществляли контроль за техническим состоянием вагонов в эксплуатации. Так же депо производили текущий ремонт и подготовку вагонов

к перевозкам.

Большинство работников вагонных депо (60-70 %) были задействованы не на ремонте вагонов, а на работах, связанных с эксплуатацией вагонов (депо подчинялось несколько десятков подразделений, расположенных на линии). Поэтому вагонные депо располагались на крупных станциях, на расстоянии, как правило, 200÷300 км друг от друга, чтобы ни отрываться от своих подразделений, расположенных на линии. Плановый (расчетный) объем ремонта грузовых вагонов составлял 3000÷5000 вагонов в год [9, с. 64]. У некоторых депо, строившихся в конце 70-х начале 80-х гг., плановый объем ремонта составлял 10 000÷12 000 вагонов в год (Красноармейск, Есиноватая и др.).

### **1.3.2 Система технического обслуживания и ремонта на других видах транспорта**

Анализируя систему технического обслуживания и ремонта в других отраслях техники, целесообразно рассмотреть их опыт проведения ремонтных работ, методы, подходы, разработки в совершенствовании системы ремонта.

Первыми в разработке системы ТОР по техническому состоянию в нашей стране были авиаторы, они указали основные особенности системы ремонта по состоянию, предложили обоснованную терминологию.

Авиационный комплекс эксплуатируется в определенном интервале времени, по истечении которого проводится его плановая профилактика. На этом интервале система контролируется в некий момент времени, в процессе контроля определяется состояние элементов системы. Если система к моменту контроля перешла в одно из неработоспособных состояний, то производится ее

восстановление. Если система находится в работоспособном состоянии, то рассматриваются два варианта:

1) если условная вероятность отказа системы меньше некоторой постоянной, характеризующей отношение затрат (в среднем) на возвращение авиационного комплекса в исходное состояние в момент предупредительного восстановления к разности между затратами на его восстановление после отказа и плановым ремонтом, то система допускается до контроля без проведения каких-либо работ;

2) в противном случае производится профилактическое восстановление.

В рамках системы технического обслуживания и ремонта авиационной техники применяется стратегия ремонта по техническому состоянию с контролем уровня надежности и диагностических параметров.

При стратегии ремонта с контролем уровня надежности изделие эксплуатируется до отказа, межремонтный ресурс для него не устанавливается. Применительно ко всему парку однотипных изделий осуществляется контроль уровня надежности. Когда фактический уровень надежности того или иного типа изделий становится ниже нормативного, проводится тщательный анализ причин отклонения и осуществляются мероприятия по его повышению: проводят дополнительные работы по техническому обслуживанию и ремонту; изменяют периодичность контроля уровня надежности, условия или режимы эксплуатации; выполняют конструкторские доработки. Критериями технического состояния изделий при данной стратегии являются параметр потока отказов и число отказов изделий, приходящихся на 1000 ч налета.

Однако усложнение конструкции систем самолетов приводит к увеличению разнообразия входящих в них узлов и, как следствие, к различным уровням их надежности. Поэтому оптимальных сроков выполнения ТОР для сложного объекта в целом практически не существует. Интенсивность расходования фактического ресурса (старение, изнашивание) объектов носит случайный характер. В результате применение стратегии ремонта по техническому состоянию с контролем уровня надежности ограничено теми

элементами конструкции, которые не влияют на безопасность движения и регулярность полетов.

При стратегии ремонта с контролем диагностических параметров решение о направлении изделий в ремонт принимается по результатам измерений функциональных и диагностических параметров узлов самолета. Замеры производятся с определенной периодичностью в полете и при выполнении различных форм технического обслуживания. При данной стратегии системы и изделия эксплуатируются до предварительного состояния, чем наработка на отказ. Для выявления предотказного (такого) состояния изделий используется принцип упреждающих допусков на диагностические параметры. Под упреждающим допуском понимают совокупность значений параметров, заключенных между предельным и предотказным уровнями параметра. Выход параметра за предельный уровень означает отказ, а достижение предотказного уровня – необходимость выполнения ремонта или замены изделия.

Необходимо отметить, что в авиации, наряду со средствами неразрушающего контроля, применяются приборы, предназначенные для непосредственной оценки остаточного ресурса. Это счетчики ресурса, индикаторы нагруженности, датчики повреждений. Эти приборы значительно облегчают принятие решения об изъятии авиационной системы из эксплуатации.

Достигнуты определенные успехи по совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта и в других видах техники массового использования – автомобильной и сельскохозяйственной. В сельском хозяйстве получили распространения три вида технического обслуживания:

1) предупредительное по наработке, когда обслуживание проводится в обязательном порядке после установленной наработки независимо от фактического состояния машины;

2) предупредительное по фактическому состоянию, когда после достижения установленной межконтрольной наработки диагностированием устанавливают фактическое состояние элементов конструкции и на этой основе

делают заключение о целесообразности ее дальнейшего использования;

3) по потребности, когда обслуживание проводится после изменения параметров состояния элементов до предельной величины, в том числе после его отказа.

Потребность в текущем и капитальном ремонтах сельскохозяйственной техники определяется при плановых периодических проверках состояния машин на основе прогнозирования технического состояния.

Техническое обслуживание и ремонт автомобилей производится по весьма гибкой системе, включающей различные виды технического обслуживания, текущий ремонт и капитальный ремонт. Ремонт машин осуществляется как на планово-предупредительной основе, так и по потребности. В частности, потребность в капитальном ремонте автомобиля определяется комиссией, назначаемой руководителем автотранспортного предприятия. Комиссия производит тщательный анализ технического состояния автомобилей и выносит окончательное решение. Особый интерес представляют принципы организации и технологии диагностирования автомобилей, поскольку диагностирование является важнейшим элементом системы ТОР автомобилей. Автомобили подвергаются диагностированию на различных этапах эксплуатации и в разных объемах: с помощью внешних средств на предприятиях техобслуживания, с помощью систем встроенных датчиков и бортовых систем контроля в эксплуатации.

Следует отметить опыт работников машиностроительной и нефтехимической промышленности. В настоящий момент в этих промышленности используется две основные стратегии обслуживания и ремонта оборудования: планово-профилактический ремонт и обслуживание по фактическому состоянию. Дополнительно используется активное техническое обслуживание, основанное на систематическом устранении источников дефектов, приводящих к преждевременному выходу оборудования из строя. Ремонт оборудования по фактическому состоянию основывается на контроле диагностируемых параметров в процессе его работы и прогнозировании

продолжительности эксплуатации до очередного ремонта. Оценка остаточного ресурса производится экстраполяционно-статистическим методом при незначительном и значительном числе диагностик. С помощью этого метода предлагается определять средний остаточный ресурс, гарантированный остаточный ресурс и междиagnostический интервал для двух групп параметров: регулярно измеряемые и косвенно измеряемые. План ремонта составлялся на основе сведений о состоянии оборудования, полученных путем его технического осмотра. Периоды, через которые должны были выполняться ремонты, их содержание и величины объема ремонтных работ не регламентированы.

### **1.3.3 Система технического обслуживания и ремонта вагонов в зарубежных странах**

Освещая проблему внедрения системы ремонта по техническому состоянию на российских железных дорогах и в других отраслях техники, необходимо учитывать опыт зарубежных стран по этому вопросу.

Нужно отметить, что за рубежом широко используются как стратегии ремонта по наработке или сроку службы, так и стратегии ремонта по состоянию. Система ремонта вагонов по потребности на Германской Федеральной железной дороге была введена вместо предупредительной системы текущего содержания с плановой заменой деталей. Информационной основой системы ремонта является система подготовки производства Kifos. Накапливаемые в этой системе данные отражают точную историю каждого вагона, а именно: когда и с какими неисправностями вагон поступил в мастерские, какому ремонту подвергался, какие при этом были использованы материалы и т. д. Эту информацию используют для планирования и

корректировки сроков технического обслуживания и технических осмотров. В частности, для грузовых вагонов на Германских железных дорогах выполняются ремонты по потребности различной категории, но при этом устанавливается предельный межремонтный срок ремонта, равный шести годам.

Основой формирования системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов на Государственных железных дорогах ФРГ (ГЖД ФРГ) является промышленный стандарт DJN 31051 «Текущее содержание. Термины и методы». Согласно этому документу текущее содержание вагонов включает техническое обслуживание, технический осмотр и ремонт. Критерием установления срока между видами и объемом текущего содержания, последовательностью их выполнения является «запас изнашивания». Для нового вагона он принимается равным 100 %, а в результате эксплуатации уменьшается. Установлено, что для одних узлов он зависит от времени эксплуатации, а для других – от эксплуатационных нагрузок [10].

Система технического обслуживания и ремонта Итальянских железных дорог основана на планово-предупредительном принципе, причем упор делается на предупреждении неисправностей и отказов, отрицательно влияющих на безопасность движения поездов. Радикальное изменение подхода к системе ТОР подвижного состава ожидается с внедрением новой системы информационной поддержки RMS. Подобная система была разработана для итальянской авиакомпании Alitalia. В этой системе каждая транспортная единица рассматривается как комплекс отдельных узлов и деталей, занесенных в базу данных и контролируемых по установленным параметрам, то есть за основу берут состояние отдельных компонентов машины, а надобность в контроле состояния всей транспортной единицы отпадает. Необходимо только своевременно осуществлять ТОР ответственных компонентов по специально разработанному графику, исходя из среднего срока службы каждого узла. В информационном архиве указывается срок службы компонента, по истечении которого он не допускается к дальнейшему использованию. Компонент либо

заменяют и отправляют в ремонт, либо утилизируют. Однако систему Alitalia трудно применить к подвижному составу железных дорог в неизменном виде, поскольку номенклатура подвижного состава намного шире, чем парк самолетов авиакомпании. Кроме того, самолетный парк в большей степени стандартизирован.

На Британских железных дорогах (БЖД) применяется плановая система ремонта грузовых вагонов. Она предусматривает выполнение периодического генерального, промежуточного и текущего ремонтов. Текущий ремонт производится в вагонных депо и специальных центрах обслуживания грузовых вагонов. В последнее время крупнейшая в Великобритании частная фирма по ремонту вагонов РКС предложила БЖД новую форму услуг по контрактам. Она на своих пунктах проводит технические осмотры и ремонты вагонов в интервалах между рейсами. Цель такого осмотра – предотвратить создание аварийных ситуаций, которые могут возникнуть в пути следования в связи с техническим состоянием вагонов. Кроме того, вагоны один раз в два месяца подаются в мастерские для производства, в ранее оговоренном объеме с БЖД, технического обслуживания. Применение такой системы обслуживания и ремонта вагонов позволило дорогам улучшить безопасность движения и экономические показатели работы.

Большой интерес представляет собой система TOP подвижного состава четвертого поколения Лондонского метрополитена, которая состоит из трех основных составляющих, объединенных открытой компьютерной сетью с системой поддержки TOP (MSS):

- 1) информационно-управляющей системы (MIS) для оценки поведения подвижного состава в эксплуатации на основе базы данных о случившихся неисправностях и выполненных ремонтных работах;
- 2) модели непрерывного прогнозирования для упреждающего выявления возможных неисправностей;
- 3) экспертной системы комплексной технической диагностики.

По прибытии поезда в депо собирается и обрабатывается вся информация

об его состоянии для составления перечня неисправностей. Бортовой компьютер поезда дополнительно к обнаруженным при осмотре дефектам выдает достаточный объем данных для прогнозной оценки в MSS скрытых неисправностей. Когда перечень неисправностей определен, разрабатываются меры по устранению неисправностей, составляется график проведения ремонтных работ. Нужно отметить, что экспертные системы имеют особое значение для диагностики подвижного состава и проверки его эксплуатационной готовности.

Создание информационных технологий будущего является приоритетным направлением в железнодорожной отрасли Европы и США. Особое внимание уделяется мониторингу технического состояния подвижного состава, то есть совмещению возможностей системы обнаружения дефектов и системы автоматической идентификации подвижного состава, что позволяет организовать систему TOP подвижного состава исходя из фактического состояния его компонентов. Используется функциональная схема радиочастотных средств автоматической идентификации грузовых вагонов AVI Dynicom (США), в основу которой положено использование стандартных электронных маркеров, крепящихся под кузовами вагонов, и стационарных напольных считывателей, устанавливаемых в рельсовой колее.

Заслуживают внимание система автоматического контроля вагонов ACES (Австралия), осуществляющая проверку технического состояния вагонов по десяти параметрам, и система слежения за узлами и деталями подвижного состава ОССТ компании BHP Iron ORE (Австралия). Система ОССТ ведет историю каждого ответственного элемента вагона с указанием случившихся повреждений, сроков и объемов проведенных ремонтов, номеров вагонов, на которые элемент устанавливался. Это создает предпосылки для прогнозирования поведения того или иного компонента в эксплуатации, а на основе этих прогнозов планируются загрузка производственных ремонтных мощностей, материально-технического обеспечения, закупка новых узлов и деталей по мере приближения завершения срока службы. Еще одной

интересной разработкой фирмы ВНР Iron Ore является экспертная система Car Care. Внедрение системы дало возможность сократить на 20 % расходы на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт кузовов и продлить на 10 % срок их службы. Это было достигнуто за счет того, что кузова вагонов оставляли в эксплуатации вплоть до точно определенного момента, после которого эксплуатация уже становится недопустимой по состоянию с точки зрения усталостной износостойкости. В системе Car Care отслеживается структурная целостность каждого вагона путем создания и ведения отдельной базы данных о техническом состоянии вагона. База данных пополняется при каждом осмотре во время заходов вагонов в ремонтное депо с интервалом примерно 15 месяцев. Таким образом, экспертная система позволяет принимать обоснованное решение о продолжении эксплуатации, направлении в ремонт или списании вагона.

Основу системы технического содержания и ремонта вагонов Национального общества французских железных дорог (НОФЖД) составляют следующие факторы: предупредительный характер текущего содержания вагонов; определение реальных сроков и очередности операций по текущему содержанию и ремонту; специализация ремонтного предприятия и его персонала. Для каждого типа вагонов определяется «шаг текущего содержания», который включает в себя два вида периодических операций: контроль и периодические осмотры; периодические ремонты. Кроме этого, предусматривается также выполнение оздоровительного ремонта по техническому состоянию вагонов. Разработано и оптимальное соотношение между текущим предупредительным содержанием и оздоровительным обслуживанием с целью достижения максимального уровня надежности, снижения расходов на них и уменьшения времени нахождения вагонов в нерабочем состоянии [11].

На железных дорогах Японии ремонт вагонов осуществляется по планово-предупредительной системе. Отличительной особенностью данной системы является то, что межремонтные периоды в Японии меньше, чем на железных

дорогах других стран. Общий осмотр, выполняемый на вагоноремонтных заводах, производится через 1–4 года с простоем в ремонте 2,2 дня. Частный ремонт производится в условиях депо через 8 месяцев, периодический осмотр – через 35–55 дней, а осмотр поезда – через каждые 16 часов [12].

Конец 90-х гг. XX в. принес новые тенденции в процесс совершенствования технического обслуживания и ремонта подвижного состава за рубежом. В ранее существовавшей практике ответственность изготовителей подвижного состава за свою продукцию прекращалась по истечению двух- или трехлетнего гарантийного срока. Техническое обслуживание и ремонт были исключительной прерогативой оператора, эксплуатирующего подвижной состав. Естественным последствием такой политики являлось мнение, что если бы изготовители были ответственны за техническое состояние подвижного состава, им пришлось бы коренным образом перерабатывать его конструкцию, чтобы впоследствии, в ходе эксплуатации, не тратить слишком много средств.

Понимание этого факта привело к возникновению концепции затрат в расчете на весь срок службы (затрат жизненного цикла, LCC). Вместе с тем пришло понимание того, что первоначальная стоимость (покупная цена) подвижного состава представляет собой лишь часть затрат LCC примерно за 30 лет его эксплуатации. К тому же современный подвижной состав находится на столь высоком техническом уровне, что операторские компании просто не имеют достаточных интеллектуальных и технических ресурсов, чтобы быть компетентными в частных деталях его устройства, работы и содержания.

Воздействие таких перемен особенно наглядно проявилось в Великобритании. Здесь почти все поставщики подвижного состава для железнодорожных компаний-операторов постепенно были вовлечены в деятельность по ТОР подвижного состава, причем не только своей, но и «чужой» постройки. Более того, вопросы ТОР непосредственно вошли в процесс проектирования подвижного состава, а ремонтпригодность подвижного состава, обеспечиваемая ценой приемлемых для заказчиков расходов, стала учитываться в его стоимости.

Компании-изготовители стали строить новые предприятия для технического обслуживания и ремонта вводимого в эксплуатацию подвижного состава, изготавливаемого по заказам компаний-операторов, а также вкладывать большие средства в приобретение и модернизацию действующих ремонтных предприятий, оснащая их оборудованием, соответствующим современным стандартам.

Таким образом, в компаниях налаживается обратная связь, по которой информация о поведении в эксплуатации узлов и агрегатов подвижного состава доводится до конструкторов и технологов не только компаний-изготовителей, но и компаний-поставщиков комплектующих изделий в целях своевременного внесения изменений в конструкцию или технологический процесс изготовления.

Итак, на железных дорогах стран западной Европы и железных дорогах США фиксированных сроков ремонта вагонов не существует. Ремонт вагона производится в зависимости от его технического состояния, что уменьшает число ремонтов, которые вагон проходит за время эксплуатации по сравнению с планово-предупредительной системой ремонта и увеличивает производительность вагона за счет сокращения времени простоя вагона в ремонте.

На железных дорогах США (которые по масштабу сходны с Российскими железными дорогами) вагоноремонтные депо (сервисные центры по ремонту и техническому обслуживанию) располагаются на расстоянии 800÷1200 км друг от друга, число ремонтируемых вагонов в год составляет от 50 000 до 80 000 вагонов в год.

В США железные дороги самостоятельно формируют систему технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов. К государственным организациям, которые каким-то образом оказывают влияние на упорядочение эксплуатации и обслуживания вагонов, относятся Американская ассоциация железных дорог (ААЖД) и Федеральная железнодорожная администрация (ФЖА). ААЖД устанавливает лишь технические нормативы, которым должны

отвечать вагоны по условиям безопасности движения.

С 1980 г. ФЖА переработала стандарты, усилив нормативные данные по техническому состоянию ходовых частей, автосцепок и тормозов.

На железных дорогах США не существует единой системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, поэтому целесообразно проанализировать опыт наиболее передовых дорог США по этому вопросу.

Например, фирма Трайлер-Трейн ввела для своих вагонов систему планово-предупредительного ремонта, что обеспечило повышенную надежность работы вагонного парка. На станции Чикаго дороги Иллинойс-Центральная грузовые вагоны ремонтируются по потребности, то есть при обнаружении неисправностей. Однако при этом выделяются вагоны, которые эксплуатируются наиболее интенсивно, и они ремонтируются в обязательном порядке. В Олнексе (штат Небраска) и в Лорене (штат Монтана) текущий и капитальный ремонт углевозных вагонов осуществляют по графику планово-профилактического ремонта или через 200 тыс. км пробега [12, с. 212].

Большое распространение на дорогах США получила система ремонта на механизированных вагоноремонтных пунктах. Текущий отцепочный ремонт грузовых вагонов при этой системе производится в одном месте станции на специально оборудованных путях, специализирующихся на выполнении определенного вида работ.

Компания «Норт амэрикэн кар» использует десять передвижных ремонтных баз, представляющих собой малые предприятия, которые действуют на малонапряженных маршрутах и обеспечивают легкие виды ремонта по планово-предупредительной системе. В случае необходимости проведения легкого ремонта предварительно рассматривается возможность его выполнения на одном из передвижных заводов. Если это по каким-то причинам невозможно, то вагоны отправляют на крупные ремонтные предприятия. Такой подход позволяет оперативно руководить загрузкой ремонтной базы и, как следствие, повышать качество ремонта и эффективность эксплуатации [12, с. 213].

На некоторых дорогах США введены легкие предупредительные осмотры и созданы условия для их осуществления. Реализация этой системы стала возможной потому, что большинство порожних вагонов-хопперов возвращаются к местам добычи полезных ископаемых через один из пунктов, на котором расположено ремонтное предприятие. Обслуживающий персонал ремонтного предприятия перемещается вдоль состава на самоходных тележках и проверяет техническое и коммерческое состояние вагонов (ходовых частей, работу тормозного оборудования и др.).

Железная дорога Кармье (Канада) применяет циклический ремонт вагонов, при котором вагоны через каждые 45 дней (19 тыс. км пробега) поступают в депо для периодического ремонта. Характерным также является то, что железнодорожные компании США, особенно крупные, которые эксплуатируют железнодорожные линии и имеют собственный подвижной состав, постоянно его ремонтируют и модернизируют [12, с. 213].

Вагоноремонтные депо (часто называемые сервисными центрами) на железных дорогах США, Канады, Австралии, Европы, Китая и Индии часто принадлежат компаниям-производителям вагонов (не только отечественным, но и иностранным). Такие крупные американские компании, как General Motors, General Electric (которые занимаются в том числе и производством грузовых вагонов), Johnstown America (крупнейший производитель грузовых вагонов в США), American Seel Foundries имеют от 50 до 150 сервисных центров, расположенных в 75 странах мира, которые выполняют послепродажное техническое обслуживание, ремонт и модернизацию произведенных компаниями грузовых вагонов [13].

Модернизация вагонов производится на железных дорогах США, Канады и стран западной Европы достаточно часто и вызвана, прежде всего, необходимостью изменить номенклатуру грузов, перевозимых в вагоне. В США прошел модернизацию каждый пятый грузовой вагон, эксплуатирующийся на железных дорогах. Модернизированы почти все вагоны, принадлежащие малым железным дорогам и имеющие срок

эксплуатации выше 30 лет. Во многих случаях универсальные вагоны переделывают в специализированные (например, универсальные платформы – в специализированные для перевозки рам автомобилей в вертикальном положении). Тысячи вагонов на железных дорогах США подвергаются модернизации дважды.

Фиксированных нормативных сроков службы грузовых вагонов на железных дорогах США, Австралии, Китая и Индии не существует, вагон эксплуатируется до тех пор, пока он по техническому состоянию уже не сможет быть задействован в перевозке грузов. Существует понятие минимального срока службы (который часто исчисляется в единицах пробега), который обязательно указывается в документации на вагон, а также среднего срока службы (определяется статистическими методами). Так же существуют критерии предельного состояния вагона, при достижении которых эксплуатация вагона должна быть прекращена и вагон должен быть списан (обязательно указывается в документации на вагон).

После того, как вагоны по техническому состоянию уже не могут быть задействованы в перевозках грузов по магистральным железным дорогам, вагоны переделываются сервисными центрами в вагоны для вспомогательных служб железнодорожного транспорта или вагоны промышленного транспорта.

Основной доход сервисных центров крупных вагоностроительных компаний США и стран западной Европы образуется за счет оказания услуг компаниям-перевозчикам грузов (которым принадлежат грузовые вагоны) по модернизации грузовых вагонов. Если компании-перевозчику грузов необходимо транспортировать груз, под перевозку которого у нее отсутствует подвижной состав, то она обращается в сервисный центр вагоностроительной компании, где производится модернизация вагонов под перевозку требуемого груза.

Крупные перевозчики имеют долгосрочные договоры с сервисными центрами на производство ремонтов, необходимых для поддержания технического состояния грузовых вагонов. Договоры заключаются или на

фиксированный календарный срок службы вагона, или на обеспечение работоспособности вагона в течение требуемого пробега, исчисляемого в тыс. км.

В течение всего жизненного цикла грузового вагона от его постройки до списания компания-перевозчик поддерживает отношения по вопросам приобретения, технического обслуживания, ремонта и модернизации грузовых вагонов с одной компанией, что достаточно удобно. Вагоностроительные компании не являются монополистами и жестко конкурируют между собой за право обслуживать ту или иную компанию перевозчика.

Железные дороги США, Канады, Австралии и Европейских государств, в отличие от Российских железных дорог, построены по специализированному принципу. Железные дороги состоят из отдельных специализированных по отдельным видам грузов линий (например, линия по перевозке железной руды из Роттердама и Дуйсбурга на Саарские металлургические заводы в Диллингене и Нойкирхине в Германии, где эксплуатируются шестиосные вагоны серии Faals с грузоподъемностью 115 т и осевой нагрузкой 25 т).

На разных линиях эксплуатируются разные типы вагонов (некоторые типы вагонов специально создаются для эксплуатации на конкретных железнодорожных линиях). Допустимая осевая нагрузка на разных линиях также может, существенно отличаться. Так, на железных дорогах США осевая нагрузка на различных линиях может колебаться от 25 до 35 т на ось. На железных дорогах Европейских государств осевая нагрузка составляет в основном, 22,5 т, на некоторых линиях 25 т. Такое построение железных дорог крайне удобно для создания крупных сервисных центров по техническому обслуживанию и ремонту грузовых вагонов. На линии располагаются один-два сервисных центра, специализирующихся на обслуживании эксплуатирующихся на данной линии вагонов.

Сервисные центры ремонтируют неисправные грузовые вагоны по принципу замены вышедших из строя узлов на новые. Принадлежность сервисных центров вагоностроительным компаниям позволяет им оперативно

решать вопрос снабжения запасными частями необходимыми для ремонтов.

Ремонтом демонтированных с вагонов запасных частей сервисные центры не занимаются, все снятые узлы направляются на предприятие-изготовитель, откуда поступают новые узлы и детали. Все износостойкие покрытия на поверхности деталей наносятся на предприятии-изготовителе. С вагона при ремонте снимаются только неисправные узлы, полной разборки вагона не производится. Такая технология позволяет минимизировать трудоемкость ремонта и время простоя вагона в ремонте. Так же минимизируется приработочный износ, который возникает в соединении после каждой разборки-сборки.

Сервисные центры (ремонтные предприятия) только обтачивают колесные пары и восстанавливают поврежденные знаки и надписи, а также лакокрасочные покрытия (на железных дорогах США, Канады и Европейских государств широкое распространение получили вагоны с кузовами из алюминиевых сплавов, которые не требуют лакокрасочных покрытий кузова, что существенно упрощает ремонт).

Около 30 % колесных пар грузовых вагонов на железных дорогах США и Европейских стран обтачивают без выкатки колесных пар непосредственно под вагоном с использованием специальных колесотокарных и колесофрезерных станков. На Европейских железных дорогах для этой цели используются станки фирмы «Хегеншайт» (Германия).

После обточки может производиться упрочняющая обработка поверхности катания колес. Ассоциация американских железных дорог (AAR) рекомендует производить модификацию (упрочнение) поверхностного слоя металла колеса, используя лазерную технологию. Компанией DUROG AB (Швеция) по заказу государственных железных дорог Швеции разработана технология упрочнения поверхности катания колес с использованием кобальтового порошка. Кобальтовый порошок рассыпается на поверхность катания и нагревается лазерным лучом. Кобальтовый порошок и металл поверхности катания расплавляются, смешиваются и образуют высококачественный легированный

сплав.

На государственных железных дорогах Швеции используется также технология модифицирования поверхностного слоя гребней колес специальным антифрикционным составом с последующим упрочнением путем поверхностного пластического деформирования. Испытания колес, упрочненных по данной технологии, показало, что износ гребней снижается в 6 раз [14]. Данная технология используется как при изготовлении новых колес, так и при ремонте после обточки колесной пары.

Кроме выполнения ремонтов сервисные центры ведут статистику отказов вагонов и их узлов (практически в каждом сервисном центре есть группа инженеров, производящая анализ надежности эксплуатирующихся вагонов). Собранные сервисными центрами статистика отказов вагонов поступает в конструкторские бюро вагоностроительных компаний. Она позволяет конструкторам своевременно выявлять ненадежные узлы вагонов и принимать меры по повышению их надежности.

Сервисные центры также проводят работы по техническому диагностированию вагонов с целью своевременного выявления возникающих при эксплуатации дефектов вагонов.

Основные мероприятия по повышению надежности и снижению стоимости жизненного цикла грузовых вагонов на железных дорогах США, Канады и Европы реализуется при строительстве грузовых вагонов (для чего крайне важна информация об отказах вагонов в эксплуатации) предприятиями-изготовителями подвижного состава. В конструкторских бюро вагоностроительных предприятий имеются специальные подразделения, занимающиеся теоретическим расчетом и экспериментальным определением износов деталей и разрабатывающие мероприятия по повышению износостойкости.

В России в последнее время также стал внедряться международный опыт. Такие вагоностроительные предприятия, как ОАО «Алтайвагон», ОАО «Ружхиммаш», Канашский вагоноремонтный завод производят новые грузовые

вагоны, выполняют капитальный ремонт с продлением срока полезного использования (КПИ) и модернизацию грузовых вагонов, а также оказывают услуги по деповскому и капитальному ремонту грузовых вагонов.

На железные дороги России поставляются конические подшипники фирмы SKF (Швеция), которые в условиях вагоноремонтных предприятий не ремонтируются. Вышедшие из строя подшипники заменяют в сервисных центрах фирмы SHF в России.

Международный опыт используется ОАО «РЖД» при проведении технической политики в области создания конструкций вагонов нового поколения, отличающихся повышенной осевой нагрузкой и надежностью. Так ФГУП «Уралвагонзавод», в соответствии с требованиями ОАО «РЖД», созданы тележки моделей 18-578 (осевая нагрузка 23,5 т) и 18-194-1 (осевая нагрузка 25 т) обеспечивающие безремонтный пробег 500 тыс. км. [15].

В России создаются совместные с иностранными компаниями предприятия по строительству новых грузовых вагонов. Так, в городе Тихвин (Ленинградская область) создано совместное Российско-Американское предприятие ЗАО «ТСЗ «Титран-Экспресс» по производству грузовых вагонов. На данном предприятии организовано производство тележек грузовых вагонов моделей 18-9800, 18-9810, 18-9855 и 18-9836, созданных на базе тележки Американских железных дорог фирмы «Барбер». Тележки обеспечивают безремонтный пробег 250 тыс. км или 3 года по календарному сроку [16].

Анализ рассмотренных выше примеров организации систем технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, применяемых за рубежом, позволяет констатировать, что использующая в СНГ система текущего осмотра и ремонта грузовых вагонов требует модернизации путем придания ей свойств большей адаптивности к различным условиям эксплуатации с учетом реального технического состояния вагонов. Частным транспортным компаниям следует организовать исполнительную систему технического сервиса, которая обеспечила бы повышение надежности вагонов и предотвращение их отцепок

от поездов в текущий ремонт, что является основным фактором повышения экономической эффективности транспортного обслуживания.

#### **1.4 Цель диссертационной работы. Постановка задач**

Основное назначение вагонного хозяйства, как известно, состоит в бесперебойном обеспечении перевозочного процесса исправным и работоспособным подвижным составом. Требуется в этой связи научиться:

- грамотно распоряжаться основными фондами вагонного хозяйства с точки зрения минимизации издержек при их ремонте и техническом обслуживании;
- строить эффективную технологию обеспечения безопасного использования вагонов по назначению на приемлемом уровне.

Показателями качества использования этих двух задач являются:

- среднее время нахождения вагонов в скрытом аварийном состоянии;
- процент отцепленных в текущий ремонт вагонов в период срока гарантии плановых ремонтов;
- доля неисправных вагонов в рабочем парке;
- число нарушений безопасности движения по вине вагонного хозяйства;
- себестоимость плановых и неплановых ремонтов вагонов;
- время простоя вагона в плановых и неплановых ремонтах.

Значения упомянутых количественных показателей зависит от соотношения следующих факторов:

- интенсивности использования вагонов по назначению;
- возрастного состава парка вагонов, их прочностных свойств и стоимости;
- технического уровня ремонтной базы, ее мощности;

- конъюнктуры цен на используемые ресурсы;
- уровня мотивации работников качественно обслуживать и ремонтировать вагоны;
- других факторов.

Эти факторы изменяются во времени, и требуется целенаправленное регулирование (другими словами, управление) для достижения соответствующего соотношения между ними.

Перед автором данной работы стояла задача не только, творчески реализовать математические методы получения оценок показателей надежности и параметров безопасности грузовых вагонов, но и подтвердить достаточную адекватность и точность полученных оценок с целью выработки и научно-обоснованных мероприятий, направленных на поддержание работоспособного состояния грузовых вагонов.

Цель исследования заключается в определении численных значений показателей надежности, параметров безопасности грузовых вагонов и оценке их влияния на параметры системы технического обслуживания и ремонта.

Для достижения поставленной цели в рамках настоящей диссертационной работы необходимо было решить следующие основные задачи:

- выполнить характеристику состояния инфраструктуры вагонного хозяйства в условиях реформирования отрасли; обобщить систему мер, направленную на повышение качества ремонта подвижного состава и обеспечение безопасности движения поездов;
- выполнить детальный анализ числа отцепок грузовых вагонов в текущий ремонт на основе временных рядов и определить основные тенденции их развития;
- определить перечень неисправностей в соответствии с действующим классификатором, по которым производится основная доля отцепок грузовых вагонов в текущий ремонт;
- определить основные причины отказов грузовых вагонов;

- раскрыть вопрос по прогнозированию числа отказов грузовых вагонов, связанных с нагревом буксового узла, на основе применения метода сезонной декомпозиции случайной величины;
- выполнить вероятностный анализ эксплуатационной безопасности грузовых вагонов;
- определить оптимальную длину гарантийных участков на основе оценки параметра безопасности грузовых вагонов;
- определить вероятности безотказной работы грузового вагона по межремонтным периодам в течение назначенного срока службы;
- определить оптимальный срок службы полувагона по критерию безубыточности эксплуатации;
- оптимизировать параметры системы ТОР и НСС полувагона, отвечающие требованиям безопасности движения и возможностям вагоноремонтной базы в рамках единой математической модели.

Результаты данной работы прошли апробацию в структурных подразделениях службы вагонного хозяйства и Центра управления содержанием инфраструктуры Забайкальской дирекции инфраструктуры.

### **Выводы по первой главе**

Действующая система планово-предупредительного ремонта нуждается в дальнейшем совершенствовании. Необходимо повышать надежность подвижного состава за счет качественного выполнения плановых видов ремонта с глубокой модернизацией узлов, внедрения новых технических решений.

Ремонты подвижного состава предполагается оптимизировать за счет:

- сбора и систематизации информации о техническом состоянии оборудования и узлов с использованием результатов их диагностирования и учета конкретных условий эксплуатации подвижного состава;
- анализа статистических данных показателей долговечности и безотказности оборудования, деталей и узлов агрегатов;
- интегральной оценки изменения технического состояния с определением оптимальной структуры ремонтного цикла для каждого типа подвижного состава.

Основные практические шаги по повышению надежности грузовых вагонов и готовности их к перевозкам в ОАО «РЖД» определены следующими мероприятиями:

- полным переходом от плановой системы деповского ремонта грузовых вагонов по календарному сроку к ремонту вагонов по объему выполненной работы;
- проведением модернизации тележек вагонов эксплуатационного парка при деповских и капитальных видах ремонта;
- строительством новых вагонов с установкой тележек модели 18-578 с улучшенными техническими характеристиками и возможностью увеличения межремонтного пробега вагонов эксплуатационного парка после деповского и капитального ремонтов до 250 тыс. км, для новых вагонов после постройки – до 500 тыс. км;
- повышением качества плановых видов ремонтов грузовых вагонов;
- внедрением системы качества ремонта вагонов, предполагающей блочную приемку по узлам;
- перераспределением функций контролируемых органов по приемке вагонов.

Однако по мере увеличения межремонтного пробега грузового вагона удельные затраты на его текущий ремонт и техническое обслуживание возрастают, так как с увеличением пробега все большее число деталей должно заменяться. Поэтому необходимо иметь четкую, научно-обоснованную оценку

фактических численных показателей надежности и безопасности грузовых вагонов, спектр основных причин, оказывающих наибольшее влияние на изменение данных показателей во времени, с целью своевременного принятия стратегических решений по разработке организационно-технических мероприятий, направленных на оптимизацию технического содержания грузовых вагонов в эксплуатации.

## **2 Анализ работоспособности грузовых вагонов в межремонтном периоде**

### **2.1 Текущее состояние парка грузовых вагонов России**

По итогам 1 квартала 2011 года парк вагонов Российской Федерации составляет 1 004 000 грузовых вагонов. Непосредственно в собственности ОАО «РЖД» находится около 26 % от общероссийского парка подвижного состава. А в общей собственности с дочерним компаниям Холдинга «РЖД» (ОАО «Трансконтейнер», ОАО «Рефсервис», ОАО «Первая грузовая компания», ОАО «Вторая грузовая компания», ООО «ТрансЛес», ОАО «РейлТрансАвто», ЗАО «Русская тройка») находится около 60 % парка вагонов [17].

Парк холдинга, то есть вагонов, принадлежащих ОАО «РЖД» и его дочерним и зависимым обществам, составляет 516 тыс. единиц, в инвентарном парке ОАО «РЖД» находится 134 тыс. вагонов (из них 25 тыс. не участвуют в перевозочном процессе), парк вагонов ОАО «Первая грузовая компания» насчитывает 200,4 тыс. грузовых вагонов (часть вагонов еще не переведена из инвентарного парка в собственный парк, поэтому реальное количество вагонов ПГК может быть выше), в собственности ЗАО «Русагротранс» – около 8260 хопперов-зерновозов, в собственности ОАО «Трансконтейнер» – около 24 200 фитинговых платформ (модернизация универсальной модели 13-401 и 13-Н455), еще 412,8 тыс. единиц подвижного состава принадлежит прочим собственникам.

Парк ОАО «РЖД» насчитывает 201 тыс. полувагонов, 42,4 тыс. крытых вагонов, 40,7 тыс. платформ, 15 тыс. хопперов-зерновозов, 40 хопперов-минераловозов, 6,7 тысяч платформ для перевозки контейнеров, всего около 500 цистерн. Полувагонов со сроками эксплуатации свыше 20 лет в парке РЖД более 128,1 тыс. единиц (нормативный срок службы полувагона 22 года) [18].

В России зарегистрировано более 2500 частных операторов подвижного состава, имеющих в собственности и лизинге более 420 тыс. грузовых вагонов.

Крупными компаниями являются: «Globaltrans Investment plc», ООО «Газпромтранс», ООО «Балттранссервис», ООО «Трансгарант», ОАО «Дальневосточная транспортная группа», ООО «ТрансГрупп АС», ООО «Метаплоинвесттранс», ООО «Независимая транспортная компания», ЗАО «Евросиб СПб-транспортные системы», ОАО «МХК "ЕвроХим», ООО «ЕвразТранс», ООО «ММК-Транс», ООО «Запсиб-Транссервис», ОАО "ХК «Новотранс», ОАО «Уралкалий», ООО «Мечел-транс», ЗАО «ВКМ-Транс», ЗАО «Локотранс», ООО «Ф.Е. Транс», ООО «ФосАгро-Транс», ООО «Модуль», К «Аппарель», ООО «Фер-Транс», АО «Инкотек-Транс-Сервис», АО «Пивоваренная компания Балтика», ООО «СЗНК», ОАО «Сильвинит» и др. [19].

Собственникам (без дочерних предприятий ОАО «РЖД») принадлежит 160,9 тыс. цистерн, 102 тыс. полувагонов, 59,1 тыс. платформ, 45,8 тыс. хопперов (21,2 тыс. минераловозов, 13,9 тыс. цементовозов, 3,4 тыс. зерновозов, 4,3 тыс. окатышевозов, 1,8 тыс. дозаторов, 1,2 тыс. хопперов для перевозки глинозема, алюминия и торфа и 1 тыс. хопперов для перевозки гранулированной сажи), 26,2 тыс. крытых вагонов (с учетом переоборудованных из рефрижераторных секций), 16,8 тыс. думпкаров, 9 тыс. вагонов-рефрижераторов, 5,3 тыс. автомобилевозов и 2,1 тыс. вагонов других типов. Двадцатилетний срок эксплуатации превышен у 6,8 тыс. полувагонов частных собственников [20].

С 2008 г. ОАО «РЖД» существенно активизировало процесс списания подвижного состава, эксплуатировавшегося после завершения нормативного срока службы. В 2008 г. было списано более 15 тыс. единиц подвижного состава, в 2009 г. уже более 40 тыс. единиц, преимущественно, крытых вагонов и полувагонов. Также списание подвижного состава в 2008 и в 2009 гг. осуществляло ОАО «Первая грузовая компания», которое выводило из эксплуатации подвижной состав, находящийся в неудовлетворительном

техническом состоянии или требующий дорогостоящего ремонта.

Таким образом, в 2007–2010 гг. чистый прирост количества грузовых вагонов наблюдался у частных собственников, в то время как парк ОАО «РЖД», несмотря на планы закупок полувагонов, демонстрировал тенденцию к сокращению в результате списания подвижного состава. В период высоких цен, пик которых приходился на лето 2008 г., транспортные компании вынуждены были сократить закупки или использовать лизинговые схемы. Кризис в экономике России привел к резкому снижению цен на подвижной состав, но ситуация внутри компаний не позволила им обновить парк. Поэтому обновление парка в 2009 г. велось медленными темпами.

Уровень износа российского парка подвижного состава продолжает оставаться чрезвычайно высоким, несмотря на приобретение новых грузовых вагонов ОАО «РЖД», частными операторами и списания вагонов с истекшим сроком службы. Средний возраст вагонного парка ОАО «РЖД» имеет возраст 21,4 года, в настоящее время вагоны достигли 70% износа. Износ вагонов частных компаний-операторов на сегодняшний день меньше, их средний возраст составляет 11,1 лет. Таким образом, российские вагоностроительные предприятия должны только в рамках замещения выбывающего из-за истечения сроков эксплуатации парка продолжать увеличивать выпуск продукции не менее чем на 10-15 % в год в течение 2011–2015 гг. [21]. Истечение сроков службы вагонов общего парка по годам в период 2011–2018 гг. с учетом продления представлено в таблице 2.1.

По статистике вагоны попадают в текущий отцепочный ремонт до 5 раз в год. При попадании в ремонт более 5 раз вагоны направляют в депо для проведения планового ремонта (ДР). Стоимость текущего отцепочного ремонта вагона в среднем составляет 22600 руб. для всех типов вагонов. Стоимость может варьироваться в зависимости от выполняемых работ, расхода комплектующих. Вагоны, попадающие в текущий отцепочный ремонт, выбывают из эксплуатации на период от 2 суток и более.

Истечение сроков службы вагонов России по годам в период 2011–2018 гг.

| Род вагона     | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | Всего к 2019 г. |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|
| Крытые         | 5244   | 5485   | 4228   | 3760   | 3466   | 3105   | 3228   | 3468   | 31 984          |
| Платформы      | 2595   | 2247   | 2007   | 2140   | 2274   | 2957   | 2650   | 2547   | 19 417          |
| Полувагоны     | 15 197 | 14 502 | 9500   | 5587   | 2997   | 1448   | 735    | 1130   | 51 096          |
| Цистерны       | 3657   | 3736   | 3531   | 3535   | 4348   | 4252   | 5107   | 5312   | 33 478          |
| Прочие         | 9015   | 10137  | 9802   | 10 504 | 11 511 | 9946   | 10 393 | 10 050 | 81 358          |
| Цементовозы    | 662    | 755    | 821    | 746    | 659    | 648    | 687    | 1015   | 5993            |
| Окатышевозы    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 160    | 160             |
| Зерновозы      | 925    | 2552   | 3714   | 3927   | 3491   | 3167   | 2896   | 2125   | 22 797          |
| Фитинговые     | 180    | 122    | 151    | 136    | 125    | 271    | 93     | 48     | 1126            |
| Минераловозы   | 2276   | 2538   | 2913   | 2385   | 2503   | 2501   | 1441   | 780    | 17 337          |
| Автомобилевозы | 298    | 19     | 24     | 12     | 13     | 156    | 515    | 495    | 1532            |
| ИТОГО          | 35 708 | 36 107 | 29 068 | 25 526 | 24 596 | 21 708 | 22 113 | 22 507 | 217 333         |

## 2.2 Оценка динамики отцепок грузовых вагонов в текущий ремонт на основе анализа временных рядов

Увеличение скоростей движения поездов, повышение требований к комфорту в пути следования вызывают необходимость дальнейшего усложнения и совершенствования вагонного парка. Это, в свою очередь, определяет высокие требования к обеспечению надежности конструкций вагонов, осуществлению контроля за их состоянием.

С приходом новых информационных технологий ситуация с получением и накоплением эксплуатационных данных коренным образом изменилась. Так, с помощью внедрения на железнодорожном транспорте системы централизованного пономерного учета вагонов сама нормальная их эксплуатация может рассматриваться в качестве своего рода стенда для испытаний на надежность. В этом случае получаем поток отказов техники при реальных эксплуатационных нагрузках, достаточно полную гамму которых

с моделировать в ближайшие годы невозможно. Имеет место эффект «черного ящика». На его входе различаются либо конструкции вагона, либо технологии ремонта, либо организации технического обслуживания и т. п. На выходе – поток отказов или другой интересующей информации. Таким образом, можно считать, что железнодорожный транспорт находится на вершине статистических возможностей.

Благодаря мониторингу в эксплуатации устанавливается фактическая загруженность наиболее повреждаемых компонентов железнодорожного транспорта, что позволяет, используя эти данные, разрабатывать мероприятия по ее снижению и тем самым существенно продлевать срока службы ненадежных частей (например, за счет усовершенствования подвешивания тележек грузовых вагонов в США удалось снизить в два раза динамические нагрузки на путь и уменьшить повреждаемость колес и рельсов).

Сегодня технический мониторинг рассматривается в качестве «технологии XXI века», давая возможность по-новому решать проблемы безопасности и безотказности железнодорожного транспорта, оптимизации стоимости его жизненного цикла. Система мониторинга, обеспечивая получение данных о фактическом состоянии и условиях работы железнодорожных систем, позволяет улучшить управление движением поездов, повысить степень использования подвижного состава и железнодорожных линий, оптимизировать работы по техническому обслуживанию и ремонту.

Мониторинг технического состояния подвижного состава создает предпосылки для прогнозирования его технического состояния в целом, а также основных узлов и деталей. Прогнозирование – это оценка будущего на основе глубокого анализа тенденций развития явлений и их взаимосвязей. Процесс прогнозирования предполагает выявление возможных альтернатив развития в перспективе для обоснованного их выбора и принятия оптимального решения.

Прогнозирование ведется на основе использования широкого спектра информации. Но первоначальный этап прогнозирования всегда связан с

анализом временных рядов, который позволяет охарактеризовать закономерность изменения явлений во времени.

Анализ числа отцепок грузовых вагонов в текущий ремонт по отказам основных компонентов конструкции на основе временных рядов позволил определить уравнения тенденции развития данного процесса (рисунки 2.1 – 2.9, таблица 2.3) [22].

В таблице 2.2 представлен сравнительный анализ причин отцепок грузовых вагонов в межремонтном периоде за 2010–2011 гг. по основным узлам конструкции.

Таблица 2.2

Сравнительный анализ причин отцепок грузовых вагонов в межремонтном периоде за 2010 – 2011 гг. по основным узлам конструкции

| Узел                   | 2010 г.          |                  |                 | 2011 г.          |                  |                 | Процент          |                  |                 |
|------------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
|                        | Инвентарный парк | Собственный парк | Общий результат | Инвентарный парк | Собственный парк | Общий результат | Инвентарный парк | Собственный парк | Общий результат |
| Колесная пара          | 22 855           | 236631           | 259486          | 10327            | 263783           | 274110          | 45%              | 111%             | 106%            |
| Буксовый узел          | 2654             | 34663            | 37317           | 807              | 26789            | 27596           | 30%              | 77%              | 74%             |
| Тележка                | 30050            | 148586           | 178636          | 21416            | 219287           | 240703          | 71%              | 148%             | 135%            |
| Автосцепка             | 2405             | 15725            | 18130           | 1624             | 18323            | 19947           | 68%              | 117%             | 110%            |
| Автотормоз             | 3578             | 20207            | 23785           | 2044             | 23225            | 25269           | 57%              | 115%             | 106%            |
| Кузов                  | 21961            | 49207            | 71168           | 32661            | 289536           | 322197          | 149%             | 588%             | 453%            |
| Рама                   | 2056             | 7155             | 9211            | 1407             | 34253            | 35660           | 68%              | 479%             | 387%            |
| Прочие                 | 8298             | 71028            | 79326           | 2912             | 48635            | 51547           | 35%              | 68%              | 65%             |
| <b>Общий результат</b> | <b>93857</b>     | <b>583202</b>    | <b>677059</b>   | <b>73198</b>     | <b>923831</b>    | <b>997029</b>   | <b>78%</b>       | <b>158%</b>      | <b>147%</b>     |

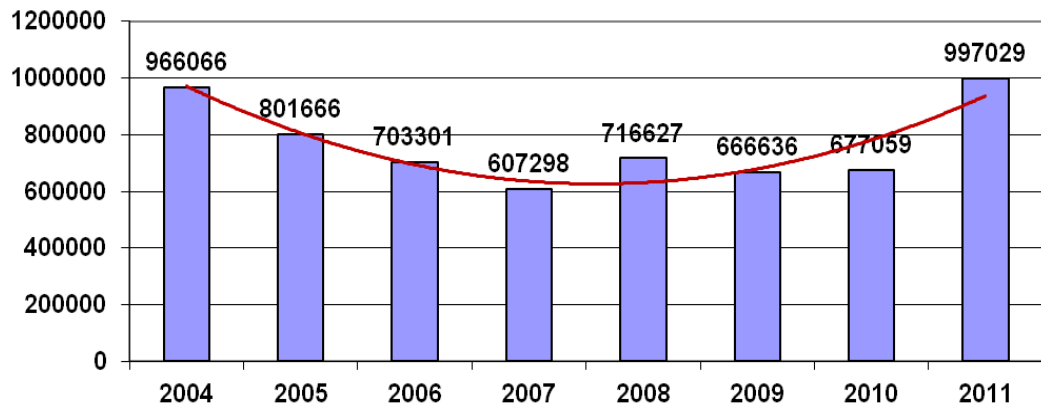


Рисунок 2.1 – Временной ряд данных и аппроксимирующая кривая по отцепкам в ТОП грузовых вагонов (общее число отцепок)

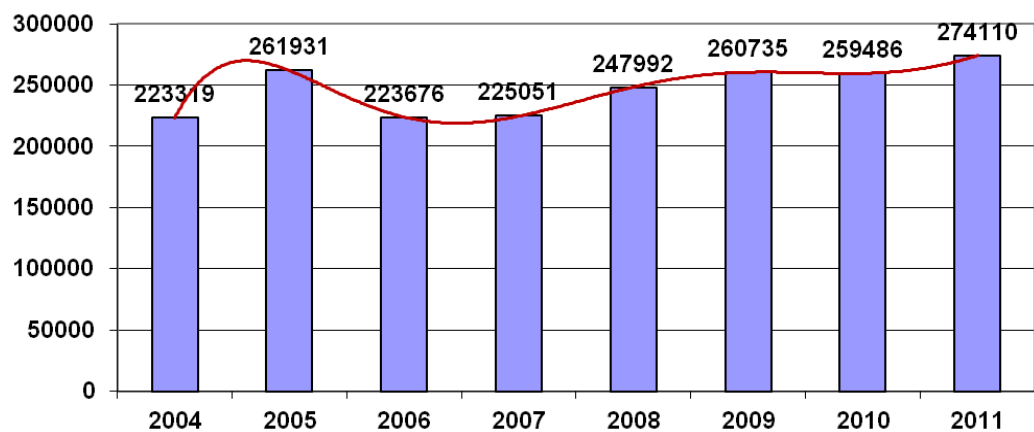


Рисунок 2.2 – Временной ряд данных и аппроксимирующая кривая по отцепкам в ТОП грузовых вагонов из-за отказа колесных пар

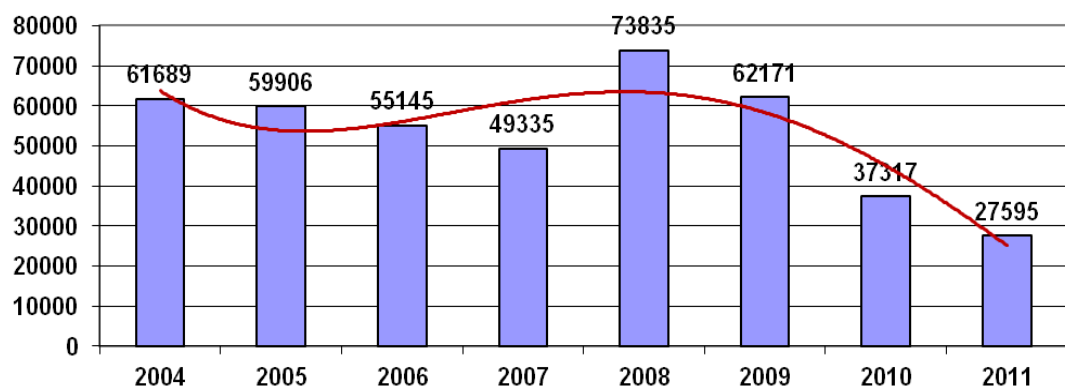


Рисунок 2.3 – Временной ряд данных и аппроксимирующая кривая по отцепкам в ТОП грузовых вагонов из-за отказа буксового узла

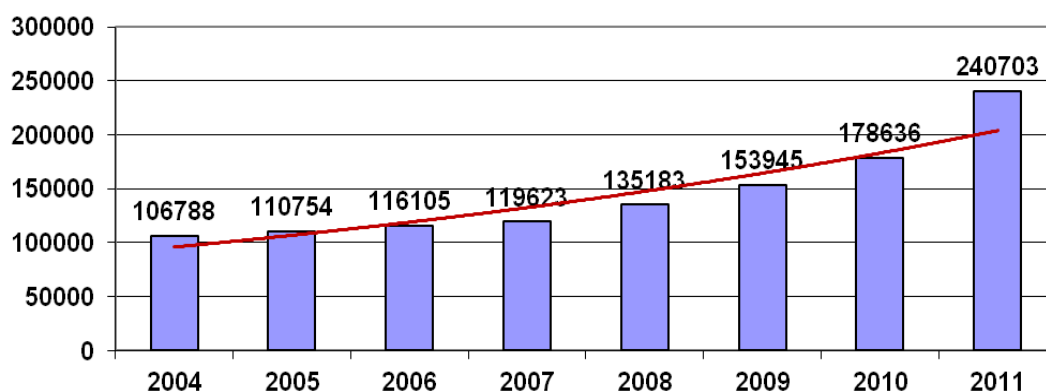


Рисунок 2.4 – Временной ряд данных и аппроксимирующая кривая по отцепкам в ТОП грузовых вагонов из-за отказа тележки

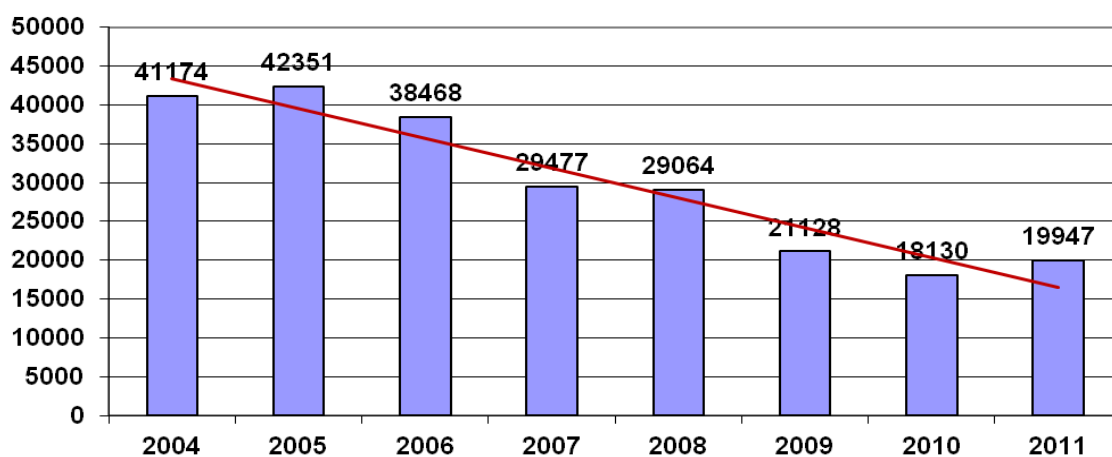


Рисунок 2.5 – Временной ряд данных и аппроксимирующая кривая по отцепкам в ТОП грузовых вагонов из-за отказа автосцепного устройства

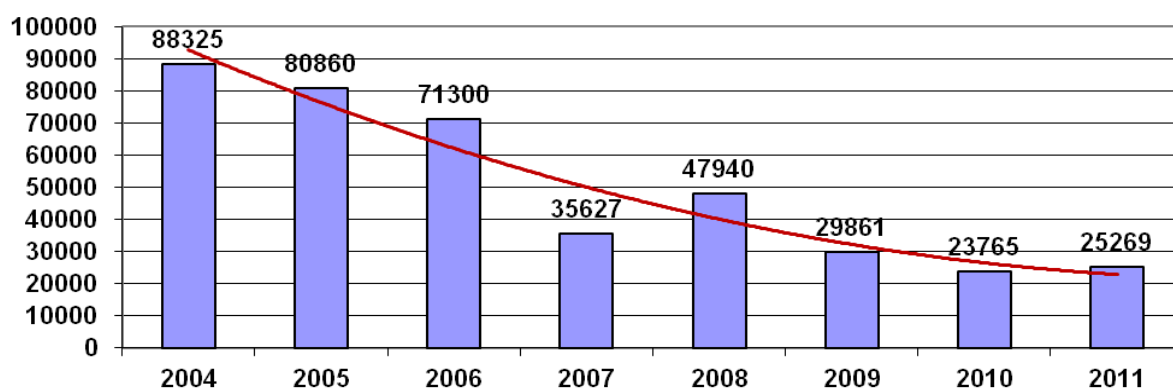


Рисунок 2.6 – Временной ряд данных и аппроксимирующая кривая по отцепкам в ТОП грузовых вагонов из-за отказа тормозного оборудования

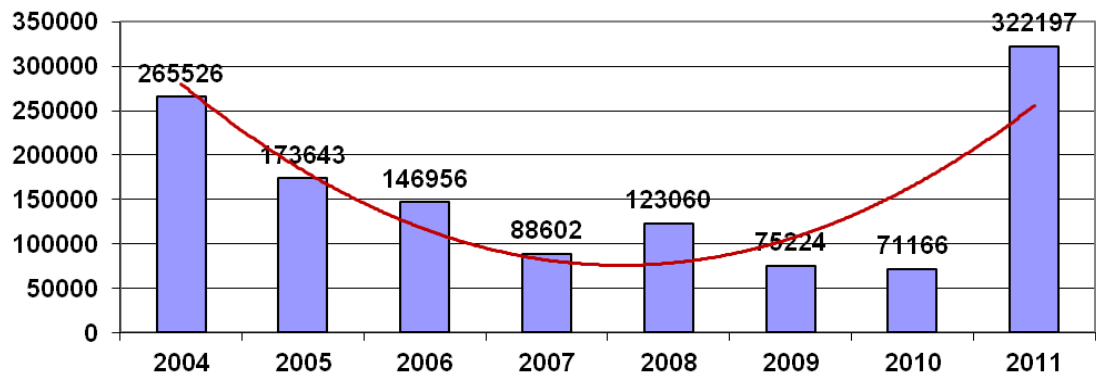


Рисунок 2.7 – Временной ряд данных и аппроксимирующая кривая по отцепкам в TOP грузовых вагонов из-за отказа кузова

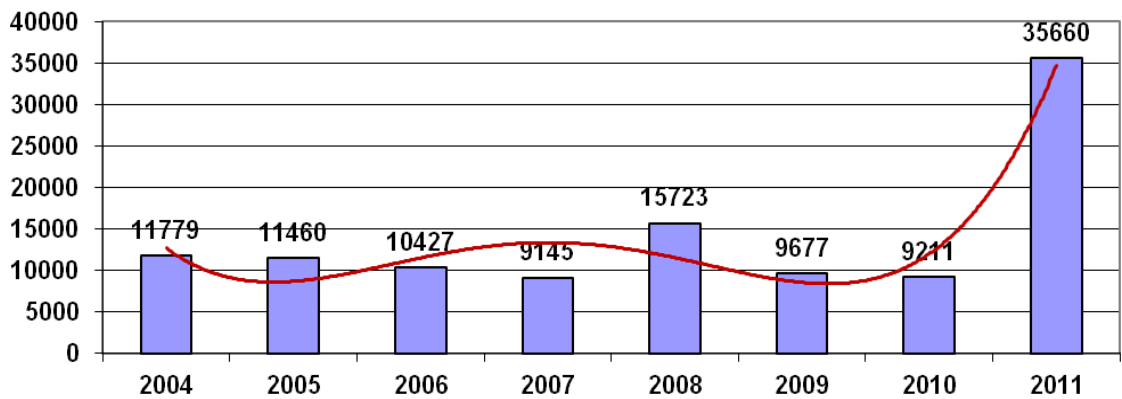


Рисунок 2.8 – Временной ряд данных и аппроксимирующая кривая по отцепкам в TOP грузовых вагонов из-за отказа рамы

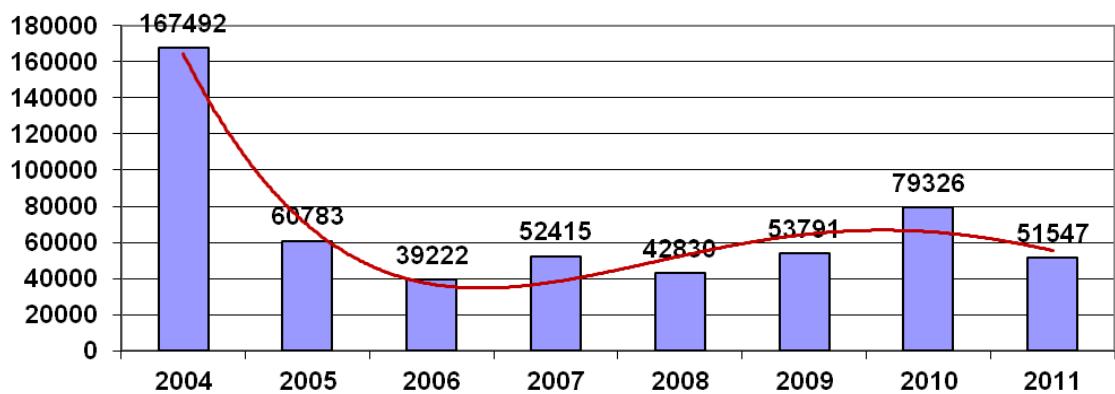


Рисунок 2.9 – Временной ряд данных и аппроксимирующая кривая по отцепкам в TOP грузовых вагонов из-за прочих отказа

Таблица 2.3

Уравнения тенденций числа отцепок грузовых вагонов по отказам основных узлов

| Узел вагона   | Уравнение тенденции                                                 | Коэффициент детерминации |
|---------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Колесная пара | $y = 444,2x^5 - 10461x^4 + 91407x^3 - 360751x^2 + 621435x - 118307$ | 0,9824                   |
| Буксовый узел | $y = 246,1x^5 - 5425,8x^4 + 43306x^3 - 152534x^2 + 228785x - 53022$ | 0,9309                   |
| Тележка       | $y = 86180e^{0,1077x}$                                              | 0,8838                   |
| Автосцепка    | $y = -3834,8x + 47224$                                              | 0,9206                   |
| Автотормоз    | $y = 1062,3x^2 - 19547x + 111242$                                   | 0,914                    |
| Кузов         | $y = 15679x^2 - 144637x + 409357$                                   | 0,705                    |
| Рама          | $y = 214,82x^4 - 3452,8x^3 + 18766x^2 + 39361x - 36526$             | 0,9021                   |
| Все узлы      | $y = 26732x^2 - 245432x + 10^6$                                     | 0,8405                   |

Процентные соотношения отказов грузовых вагонов по элементам конструкции при отцепках в ТР-1 и ТР-2 представлены на рисунках 2.10 – 2.21.

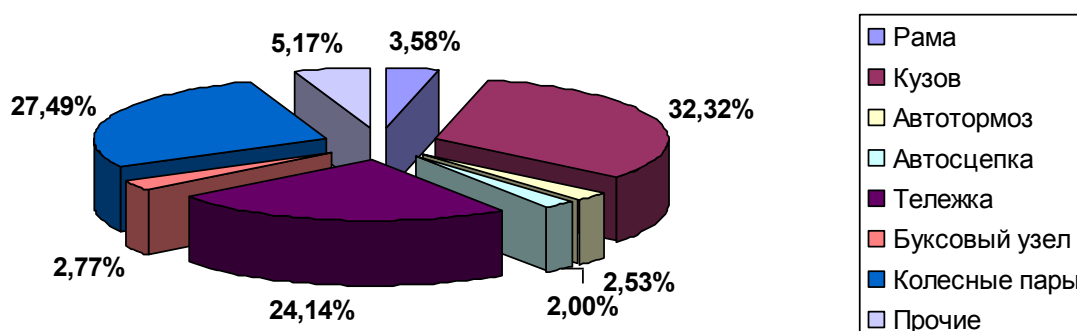


Рисунок 2.10 – Процентное соотношение отказов основных узлов грузовых вагонов при отцепках в ТР-1 и ТР-2 за 2011 г.

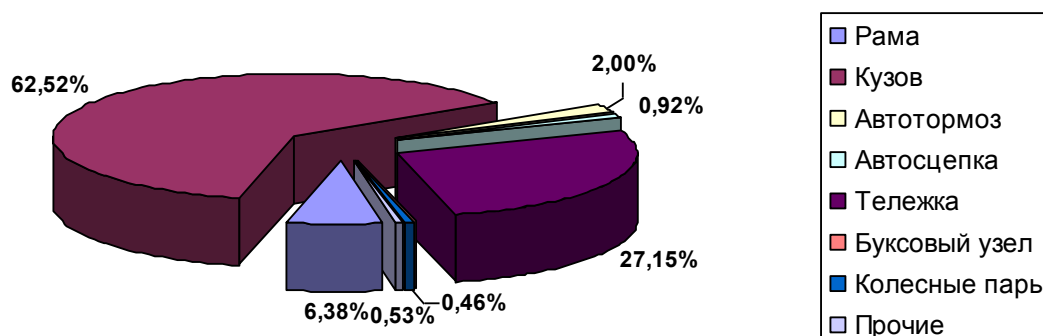


Рисунок 2.11 – Процентное соотношение отказов основных узлов грузовых вагонов при отцепках в ТР-1 за 2011 г.

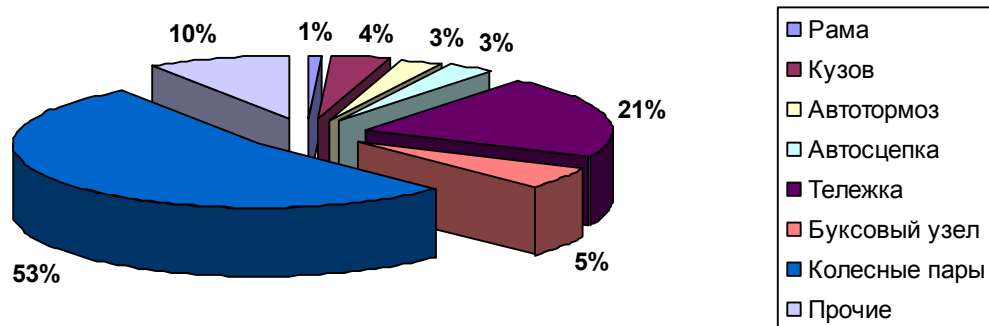


Рисунок 2.12 – Процентное соотношение отказов основных узлов грузовых вагонов при отцепках в ТР-2 за 2011 г.

Таким образом, из приведенного выше анализа следует, что большинство отцепок грузовых вагонов происходит вследствие отказов следующих узлов: кузова, колесных пар и тележек. Основные неисправности, по которым зарегистрировано наибольшее число отцепок в текущий ремонт грузовых вагонов в 2011 г. приведено в таблице 2.4.

Основные неисправности, по которым происходит основная доля отцепок вагонов в межремонтном периоде

| № | Узел                   | Наименование неисправности                        | Код неисправности | Число отцепок  | Процент от общего числа отцепок |
|---|------------------------|---------------------------------------------------|-------------------|----------------|---------------------------------|
| 1 | Колесные пары          | Тонкий гребень                                    | 102               | 148 360        | 54,1 %                          |
|   |                        | Ползун на поверхности катания                     | 106               | 13 063         | 4,8 %                           |
|   |                        | Выщербина                                         | 107               | 61 843         | 22,6 %                          |
|   |                        | Остроконечный накат                               | 109               | 22 645         | 8,2 %                           |
|   |                        | Неравномерный прокат                              | 117               | 23 799         | 8,7 %                           |
|   |                        | <b>ИТОГО</b>                                      |                   | <b>269 710</b> | <b>98,4 %</b>                   |
| 2 | Буксовый узел          | Грение буксы                                      | 150               | 24 204         | 87,7 %                          |
|   |                        | Сдвиг буксы                                       | 151               | 3025           | 10,9 %                          |
|   |                        | <b>ИТОГО</b>                                      |                   | <b>27 229</b>  | <b>98,6 %</b>                   |
| 3 | Тележка                | Трещина (излом) боковины                          | 205               | 11 779         | 4,9 %                           |
|   |                        | Износ колпака скользуна                           | 208               | 9953           | 4,1 %                           |
|   |                        | Трещина колпака скользуна                         | 212               | 18 568         | 7,7 %                           |
|   |                        | Излом пружин                                      | 214               | 22 708         | 9,4 %                           |
|   |                        | Трещина (излом) надрессорной балки                | 217               | 4220           | 1,8 %                           |
|   |                        | Завышение фрикционных клиньев                     | 219               | 54 487         | 22,6 %                          |
|   |                        | Несоответствие зазоров в скользунах               | 220               | 98 478         | 40,9 %                          |
|   |                        | <b>ИТОГО</b>                                      |                   | <b>220 193</b> | <b>91,5 %</b>                   |
| 4 | Автосцепное устройство | Провисание автосцепки                             | 302               | 4473           | 22,4 %                          |
|   |                        | Трещина корпуса автосцепки                        | 304               | 1602           | 8,0 %                           |
|   |                        | Неисправность поглощающего аппарата               | 348               | 7408           | 37,1 %                          |
|   |                        | Суммарный зазор эластомерного аппарата более 5 мм | 352               | 1635           | 8,2 %                           |
|   |                        | Излом клина тягового хомута                       | 384               | 2074           | 10,4 %                          |
|   |                        | <b>ИТОГО</b>                                      |                   | <b>17 192</b>  | <b>86,1 %</b>                   |

| № | Узел                       | Наименование неисправности                                 | Код неисправности | Число отцепок  | Процент от общего числа отцепок |
|---|----------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------|----------------|---------------------------------|
| 5 | Автотормозное оборудование | Неисправность воздухораспределителя                        | 403               | 2209           | 8,7 %                           |
|   |                            | Неисправность тормозного цилиндра                          | 404               | 6446           | 25,5 %                          |
|   |                            | Неисправность разобщительного крана                        | 406               | 1033           | 4,1 %                           |
|   |                            | Срыв корончатой гайки с триангеля                          | 408               | 1255           | 5,0 %                           |
|   |                            | Неисправность тройника                                     | 410               | 4566           | 18,1 %                          |
|   |                            | Обрыв/ излом магистрали воздухопровода                     | 441               | 2231           | 8,8 %                           |
|   |                            | Завар башмака                                              | 445               | 3289           | 13,0 %                          |
|   |                            | <b>ИТОГО</b>                                               |                   | <b>21 029</b>  | <b>83,2 %</b>                   |
| 6 | Кузов                      | Перекос кузова более 75 мм                                 | 501               | 21 777         | 6,7 %                           |
|   |                            | Обрыв сварного шва стойки                                  | 503               | 47 335         | 14,7 %                          |
|   |                            | Неисправность запора двери                                 | 537               | 46 238         | 14,4 %                          |
|   |                            | Неисправность запора люка                                  | 540               | 129 940        | 40,3 %                          |
|   |                            | Неисправность погрузо-разгрузочного механизма              | 549               | 41 778         | 13,0 %                          |
|   |                            | <b>ИТОГО</b>                                               |                   | <b>287 068</b> | <b>89,1 %</b>                   |
| 7 | Рама                       | Ослабление крепления пятника                               | 607               | 3349           | 9,4 %                           |
|   |                            | Трещина вертикального листа поперечной балки               | 615               | 3072           | 8,6 %                           |
|   |                            | Отсутствие верхнего (вертикального) листа поперечной балки | 625               | 24 103         | 67,6 %                          |
|   |                            | <b>ИТОГО</b>                                               |                   | <b>30 524</b>  | <b>85,6 %</b>                   |

| № | Узел           | Наименование неисправности                                 | Код неисправности | Число отцепок | Процент от общего числа отцепок |
|---|----------------|------------------------------------------------------------|-------------------|---------------|---------------------------------|
| 8 | Прочие причины | Неисправность не связанная с техническим состоянием вагона | 900               | 15 502        | 30,1 %                          |
|   |                | Претензии к качеству выполнения деповского ремонта         | 912               | 14 671        | 28,5 %                          |
|   |                | Претензии к качеству выполнения капитального ремонта       | 913               | 3861          | 7,5 %                           |
|   |                | Претензии к качеству изготовления вагона                   | 914               | 4435          | 8,6 %                           |
|   |                | Повреждение на путях организаций-клиентов                  | 916               | 11 567        | 22,4 %                          |
|   |                | <b>ИТОГО</b>                                               |                   | <b>50 036</b> | <b>97,1 %</b>                   |

### 2.3 Анализ причин отказов грузовых вагонов в межремонтном периоде

В соответствии с ГОСТ 27.002 – 89 [23] под причиной отказа понимаются явления, процессы, события и состояния, обусловившие возникновение отказа. В зависимости от причины возникновения отказы классифицируются по ГОСТ 27.104 – 84 [24] следующим образом:

- конструкционный отказ – отказ, возникающий в результате несовершенства или нарушения установленных правил и (или) норм конструирования объекта;
- производственный отказ – отказ, возникающий в результате несовершенства или нарушения установленного процесса изготовления или ремонта объекта, выполнявшегося на ремонтном предприятии;

– эксплуатационный отказ – отказ, возникающий в результате нарушения установленных правил и (или) условий эксплуатации.

Под вышеуказанными отказами применительно к причинам возникновения отказов грузовых вагонов автор понимает следующее:

– конструкционный отказ – отказ, возникающий вследствие несовершенства конструкции и материалов, не обеспечивающих безотказное состояние грузовых вагонов в процессе эксплуатации между плановыми ремонтами. Под конструкционными отказами автор учитывает такие отцепки грузовых вагонов в текущий ремонт, как: тонкий гребень колеса, завышение фрикционного клина, сверхдопустимый прокат по кругу катания колеса, излом пружин рессорного комплекта, выщербина обода колеса, остроконечный накат гребня и так далее;

– производственный отказ – отказ, возникающий из-за ошибочных действий (нарушения трудовой и технологической дисциплины) или бездействия оперативного персонала вагоноремонтного предприятия, несовершенства (морального и физического износа) технологического оборудования, слабой организации приемочного контроля (системы менеджмента качества). Другими словами, вследствие вышеуказанных причин грузовой вагон после плановых видов ремонта не отвечает всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации. Под производственными отказами автор учитывает такие отцепки грузовых вагонов в текущий ремонт, как: обрыв сварных швов кузова и рамы вагона, трещины литых деталей тележек, нагрев буксового узла, сдвиг буксы и так далее. В данную группу выборочной совокупности автор также относит отцепки грузовых вагонов, которым присвоен дополнительный код 912, указывающий на претензии эксплуатационной организации к качеству выполнения планового вида ремонта;

– эксплуатационный отказ – отказ, возникающий вследствие нарушения условий эксплуатации грузового вагона, правил технического обслуживания, правил выполнения погрузочно-разгрузочных работ, режимов производства

маневровой работы и т. д. Сюда же относятся отцепки вагонов по указанию железнодорожной администрации, отцепки не связанные с техническим состоянием вагона, когда вагон переводится в нерабочий парк для осуществления каких-либо профилактических или других мероприятий, вызванных определенными обстоятельствами. Под эксплуатационными отказами автор понимает такие отцепки грузовых вагонов, которым присвоены дополнительные коды 915 и 916, указывающие на повреждение конструкции вагона на путях общего пользования и путях организаций и клиентов, а также отцепки по коду 900 – не связанные с техническим состоянием вагона и 902 – с разрешения железнодорожной администрации.

Результаты анализа по отцепкам грузовых вагонов в зависимости от причины отказа (производственной, конструкционной, эксплуатационной) приведены на рисунках 2.13–2.19 и в таблицах 2.5–2.7 [22, с. 87-125].

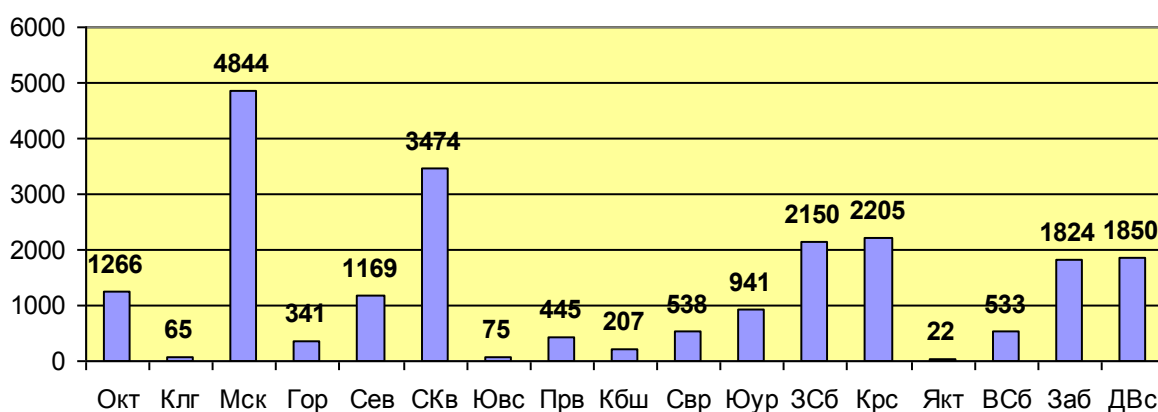


Рисунок 2.13 – Отцепки грузовых вагонов в ТОП по железным дорогам РФ за 2011 г. по эксплуатационным причинам

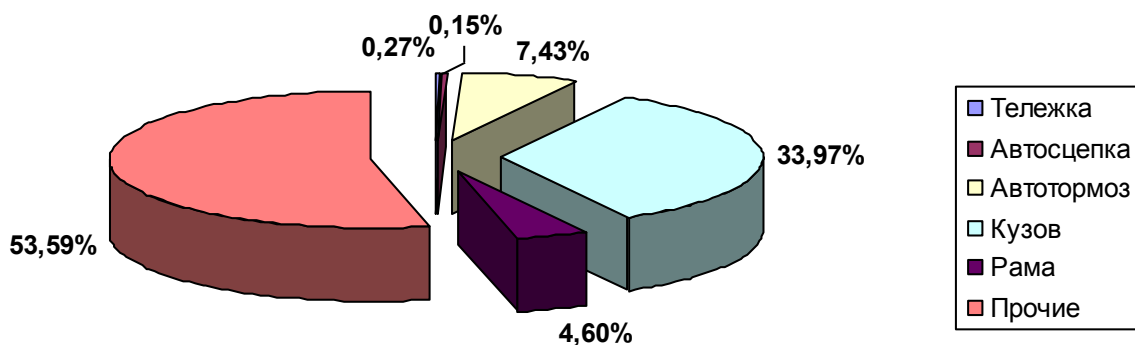


Рисунок 2.14 – Процентное соотношение эксплуатационных отцепок грузовых вагонов по отказавшим узлам

Таблица 2.5

Число отцепок грузовых вагонов по эксплуатационным причинам в разрезе железных дорог Российской Федерации

| УЗЛЫ          | ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ РОССИИ |           |             |            |             |             |           |            |            |            |            |             |             |           |            |             |             |              |
|---------------|------------------------|-----------|-------------|------------|-------------|-------------|-----------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-----------|------------|-------------|-------------|--------------|
|               | ОКТ                    | КЛГ       | МСК         | ГОР        | СЕВ         | СКВ         | ЮВС       | ПРВ        | КБШ        | СВР        | ЮУР        | ЗСБ         | КРС         | ЯКТ       | ВСБ        | ЗАБ         | ДВС         | Σ            |
| Колесные пары | 0                      | 0         | 0           | 0          | 0           | 0           | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0           | 0           | 0         | 0          | 0           | 0           | 0            |
| Буксовый узел | 0                      | 0         | 0           | 0          | 0           | 0           | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          | 0           | 0           | 0         | 0          | 0           | 0           | 0            |
| Тележка       | 2                      | 0         | 8           | 0          | 0           | 1           | 2         | 0          | 0          | 13         | 6          | 6           | 4           | 0         | 4          | 1           | 12          | 59           |
| Автосцепка    | 1                      | 0         | 13          | 1          | 1           | 0           | 0         | 0          | 1          | 1          | 0          | 0           | 0           | 1         | 0          | 5           | 9           | 33           |
| Автотормоз    | 3                      | 0         | 792         | 1          | 151         | 1           | 1         | 0          | 3          | 17         | 7          | 3           | 8           | 0         | 5          | 3           | 635         | 1630         |
| Кузов         | 454                    | 20        | 3240        | 0          | 672         | 57          | 5         | 2          | 9          | 135        | 210        | 1344        | 1122        | 1         | 65         | 45          | 74          | 7455         |
| Рама          | 1                      | 0         | 32          | 0          | 0           | 2           | 11        | 1          | 0          | 0          | 2          | 1           | 941         | 0         | 12         | 5           | 2           | 1010         |
| Прочие        | 805                    | 45        | 759         | 339        | 345         | 3413        | 56        | 442        | 194        | 372        | 716        | 796         | 130         | 20        | 447        | 1765        | 1118        | 11762        |
| <b>ВСЕГО</b>  | <b>1266</b>            | <b>65</b> | <b>4844</b> | <b>341</b> | <b>1169</b> | <b>3474</b> | <b>75</b> | <b>445</b> | <b>207</b> | <b>538</b> | <b>941</b> | <b>2150</b> | <b>2205</b> | <b>22</b> | <b>533</b> | <b>1824</b> | <b>1850</b> | <b>21949</b> |

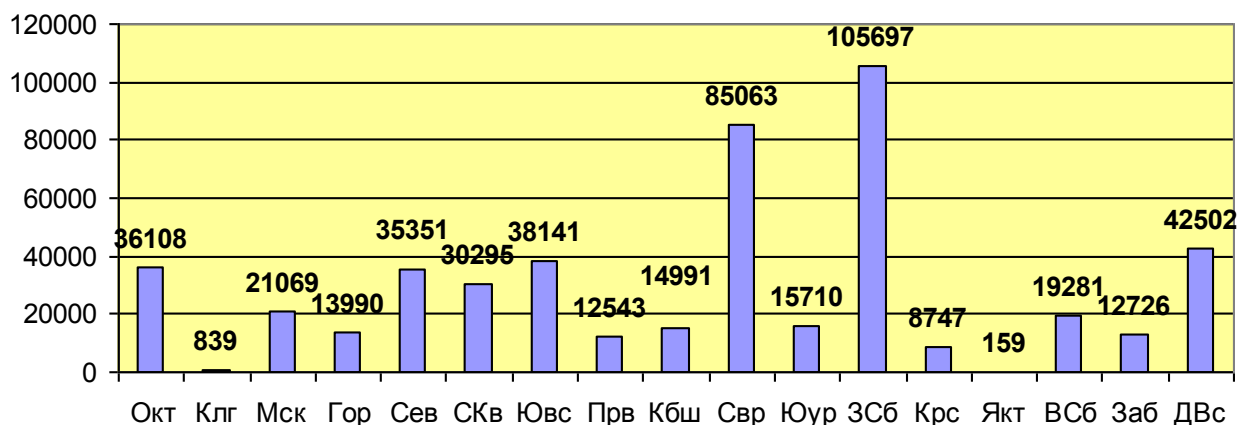


Рисунок 2.15 – Отцепки грузовых вагонов в ТОП по железным дорогам РФ за 2011 г. по конструкционным причинам

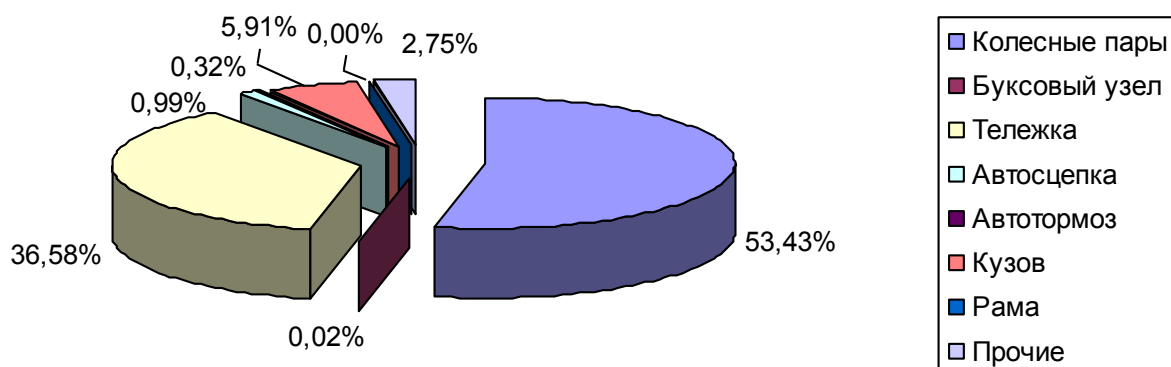


Рисунок 2.16 – Процентное соотношение конструкционных отцепок грузовых вагонов по отказавшим узлам

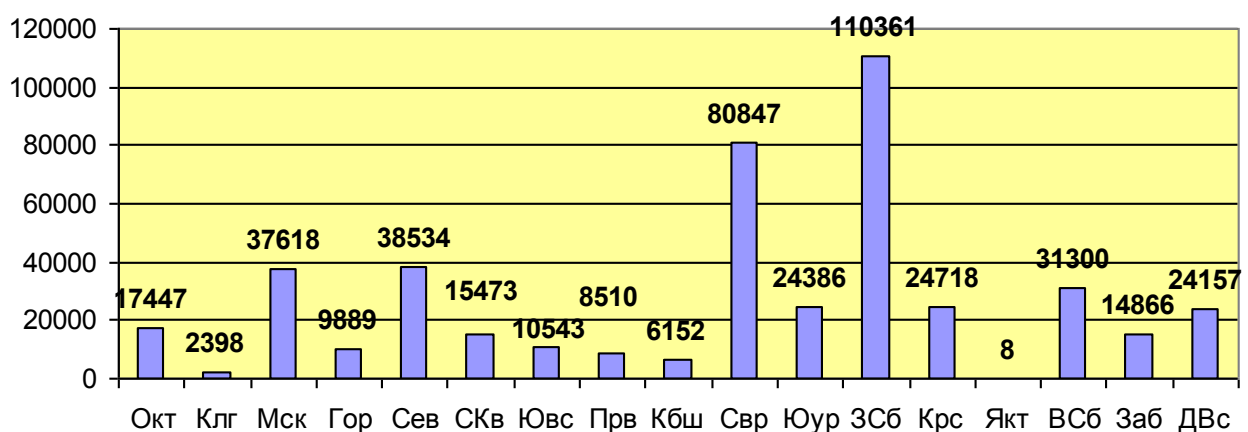


Рисунок 2.17 – Отцепки грузовых вагонов в ТОП по железным дорогам РФ за 2011 г. по производственным причинам

Таблица 2.6

Число отцепок грузовых вагонов по конструкционным причинам в разрезе железных дорог Российской Федерации

| УЗЛЫ          | ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ РОССИИ |            |              |              |              |              |              |              |              |              |              |               |             |            |              |              |              |               |
|---------------|------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------|------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|               | ОКТ                    | КЛГ        | МСК          | ГОР          | СЕВ          | СКВ          | ЮВС          | ПРВ          | КБШ          | СВР          | ЮУР          | ЗСБ           | КРС         | ЯКТ        | ВСБ          | ЗАБ          | ДВС          | Σ             |
| Колесные пары | 22835                  | 534        | 11463        | 10281        | 16620        | 10949        | 6498         | 3846         | 4968         | 27766        | 8953         | 87870         | 4677        | 74         | 13770        | 6436         | 25968        | 263508        |
| Буксовый узел | 24                     | 0          | 0            | 0            | 55           | 0            | 3            | 0            | 0            | 0            | 5            | 31            | 0           | 0          | 0            | 0            | 1            | 119           |
| Тележка       | 10685                  | 134        | 8547         | 2674         | 7662         | 17391        | 21844        | 7515         | 9052         | 55499        | 4714         | 8676          | 2982        | 36         | 3942         | 5055         | 13998        | 180406        |
| Автосцепка    | 601                    | 6          | 129          | 15           | 253          | 742          | 1471         | 324          | 325          | 64           | 215          | 122           | 34          | 43         | 125          | 181          | 228          | 4878          |
| Автотормоз    | 8                      | 7          | 91           | 37           | 358          | 64           | 71           | 55           | 34           | 63           | 156          | 432           | 13          | 5          | 41           | 11           | 118          | 1564          |
| Кузов         | 1385                   | 115        | 130          | 99           | 9303         | 498          | 7950         | 516          | 67           | 410          | 524          | 6192          | 592         | 1          | 530          | 146          | 698          | 29156         |
| Рама          | 0                      | 0          | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0             | 0           | 0          | 0            | 0            | 0            | 0             |
| Прочие        | 570                    | 43         | 709          | 884          | 1100         | 651          | 304          | 287          | 545          | 1261         | 1143         | 2374          | 449         | 0          | 873          | 897          | 1491         | 13581         |
| <b>ВСЕГО</b>  | <b>36108</b>           | <b>839</b> | <b>21069</b> | <b>13990</b> | <b>35351</b> | <b>30295</b> | <b>38141</b> | <b>12543</b> | <b>14991</b> | <b>85063</b> | <b>15710</b> | <b>105697</b> | <b>8747</b> | <b>159</b> | <b>19281</b> | <b>12726</b> | <b>42502</b> | <b>493212</b> |

Таблица 2.7

Число отцепок грузовых вагонов по производственным причинам в разрезе железных дорог Российской Федерации

| УЗЛЫ          | ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ РОССИИ |             |              |             |              |              |              |             |             |              |              |               |              |          |              |              |              |               |
|---------------|------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|---------------|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|               | ОКТ                    | КЛГ         | МСК          | ГОР         | СЕВ          | СКВ          | ЮВС          | ПРВ         | КБШ         | СВР          | ЮУР          | ЗСБ           | КРС          | ЯКТ      | ВСБ          | ЗАБ          | ДВС          | Σ             |
| Колесные пары | 36                     | 1           | 11           | 28          | 36           | 17           | 12           | 2           | 30          | 151          | 90           | 773           | 27           | 0        | 150          | 39           | 125          | 1528          |
| Буксовый узел | 981                    | 32          | 3110         | 2430        | 1682         | 863          | 826          | 173         | 1798        | 3144         | 1519         | 3424          | 691          | 0        | 2385         | 1267         | 1356         | 25681         |
| Тележка       | 2146                   | 336         | 1799         | 3025        | 3874         | 5023         | 2339         | 1577        | 1147        | 6186         | 4042         | 9847          | 3213         | 0        | 5616         | 1713         | 4887         | 56770         |
| Автосцепка    | 616                    | 100         | 978          | 532         | 926          | 865          | 315          | 207         | 695         | 2013         | 1128         | 897           | 621          | 3        | 998          | 514          | 1862         | 13270         |
| Автотормоз    | 1164                   | 340         | 2431         | 986         | 955          | 669          | 400          | 118         | 338         | 854          | 703          | 582           | 712          | 0        | 777          | 186          | 774          | 11989         |
| Кузов         | 10818                  | 1469        | 20734        | 2602        | 27249        | 4981         | 1171         | 3062        | 1982        | 47517        | 15577        | 87153         | 13807        | 5        | 13975        | 7701         | 9662         | 269465        |
| Рама          | 487                    | 106         | 8101         | 124         | 112          | 2030         | 5467         | 72          | 93          | 921          | 1246         | 801           | 5164         | 0        | 6586         | 488          | 1645         | 33443         |
| Прочие        | 1199                   | 14          | 454          | 162         | 1700         | 1025         | 13           | 3299        | 69          | 61           | 81           | 6884          | 483          | 0        | 813          | 2958         | 3846         | 23061         |
| <b>ВСЕГО</b>  | <b>17447</b>           | <b>2398</b> | <b>37618</b> | <b>9889</b> | <b>36534</b> | <b>15473</b> | <b>10543</b> | <b>8510</b> | <b>6152</b> | <b>60847</b> | <b>24386</b> | <b>110361</b> | <b>24718</b> | <b>8</b> | <b>31300</b> | <b>14866</b> | <b>24157</b> | <b>435207</b> |

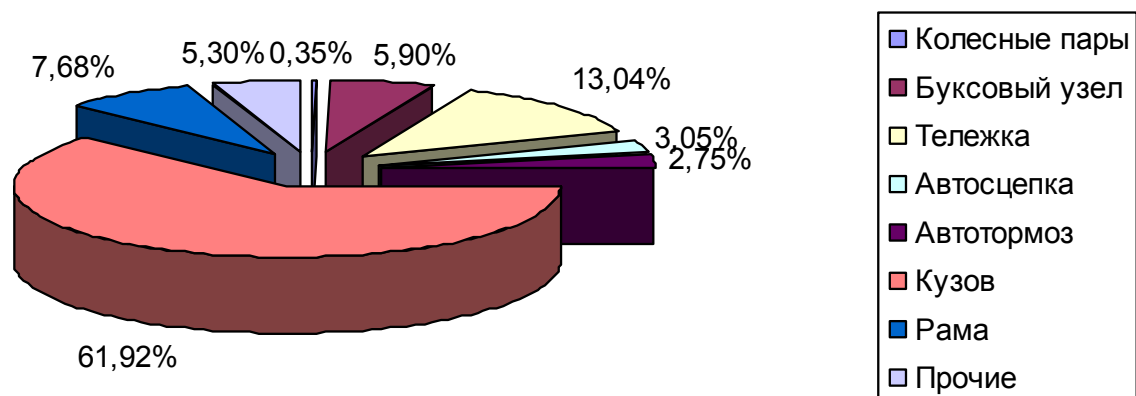


Рисунок 2.18 – Процентное соотношение производственных отцепок грузовых вагонов по отказавшим узлам

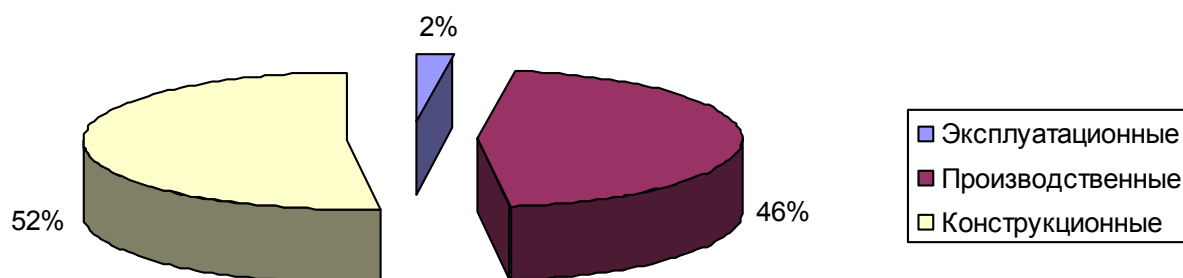


Рисунок 2.19 – Процентное соотношение отказов грузовых вагонов в зависимости от причин их возникновения

Таким образом, основными причинами отказов грузовых вагонов в межремонтном периоде являются конструкционные и производственные отказы – процентное соотношение данных отказов в настоящее время составляет 52 % и 46 % соответственно.

## **Выводы по второй главе**

1. Выполнен детальный анализ числа отцепок грузовых вагонов в текущий ремонт на основе временных рядов. Установлено, что общая тенденция развития отцепок грузовых вагонов в межремонтном периоде имеет положительную динамику. При этом наблюдается увеличение числа отказов по таким узлам конструкции, как колесные пары, тележка, кузов и рама. В свою очередь, наблюдается снижение числа отцепок по буксовому узлу, автосцепному устройству, автотормозному оборудованию и прочим причинам.

2. Определены основные неисправности, в соответствии с действующим классификатором, по которым производится основная доля (90 %) отцепок грузовых вагонов в текущий ремонт. Установлено, что большинство отцепок грузовых вагонов происходит вследствие отказов следующих узлов: кузова, колесных пар и тележек. В зависимости от объема ремонта и отказавшего узла наибольшее число отцепок вагонов в 2011 г. составило: ТР-1 – по кузову (62 %), ТР-2 – по колесным парам (53 %).

3. Выполнен анализ причин отказов грузовых вагонов в межремонтном периоде, по результатам которого можно утверждать, что основными причинами отказов грузовых вагонов в межремонтном периоде являются конструкционные и производственные отказы – процентное соотношение данных отказов в настоящее время составляет 52 % и 46 % соответственно.

### **3 Прогнозирование числа отцепок грузовых вагонов по грению буксового узла с применением метода сезонной компоненты**

#### **3.1 Структура математической модели прогнозирования с применением сезонной компоненты**

Известно, что момент возникновения нагрева буксового узла является случайным событием, поэтому наносит серьезный ущерб для графика движения поездов в целом. Служба Вагонного хозяйства занимается расследованием данных инцидентов, оперативно принимает меры по выпуску отцепленных вагонов из текущего ремонта в минимально возможные сроки.

Развитие науки и техники предопределяет необходимость проведения в широких масштабах прогнозных работ, значение которых обуславливается возрастающим влиянием научно-технического прогресса на все аспекты хозяйственной деятельности и жизни общества. Прогнозирование – это оценка будущего на основе глубокого анализа тенденций развития явлений и их взаимосвязей. Процесс прогнозирования предполагает выявление возможных альтернатив развития в перспективе для обоснованного их выбора и принятия оптимального решения.

Прогнозирование ведется на основе использования широкого спектра информации. Но первоначальный этап прогнозирования всегда связан с анализом временных рядов, который позволяет охарактеризовать закономерность изменения явления во времени.

По временным рядам за ряд лет в помесечном или поквартальном разрезе могут наблюдаться сезонные колебания.

Сезонные колебания – это разновидность периодических колебаний. Для них характерны внутригодовые, повторяющиеся устойчиво из месяца в месяц, (из квартала в квартал) изменения в уровнях. Иными словами, сезонные

колебания – регулярные повторяющиеся подъемы и снижения уровней динамического ряда внутри года на протяжении ряда лет.

Уровень временного ряда целесообразно рассматривать как функцию тенденции, сезонности и случайности. Соответственно при мультипликативной модели уровень динамического ряда можно представить в виде сомножителей [25]:

$$y_i = y_t \cdot K_s \cdot E, \quad (3.1)$$

где  $y_i$  – фактические уровни динамического ряда;

$y_t$  – теоретические значения уровней динамического ряда;

$K_s$  – коэффициент сезонности;

$E$  – коэффициент влияния случайности.

При этом алгоритм расчета можно представить, решив задачу в аналитическом виде [26].

Пусть исходные данные по годам будут представлены в таблице 3.1.

Исходные данные для прогнозирования по годам

| Месяц | Год        |            |     |             |            | $\bar{y}_{si} = \frac{1}{n} \sum y_{ij}$   |
|-------|------------|------------|-----|-------------|------------|--------------------------------------------|
|       | 1          | 2          | ... | n-1         | n          |                                            |
| 1     | $y_{11}$   | $y_{12}$   | ... | $y_{1n-1}$  | $y_{1n}$   | $\bar{y}_{s1}$                             |
| 2     | $y_{21}$   | $y_{22}$   | ... | $y_{2n-1}$  | $y_{2n}$   | $\bar{y}_{s2}$                             |
| 3     | $y_{31}$   | $y_{32}$   | ... | $y_{3n-1}$  | $y_{3n}$   | $\bar{y}_{s3}$                             |
| 4     | $y_{41}$   | $y_{42}$   | ... | $y_{4n-1}$  | $y_{4n}$   | $\bar{y}_{s4}$                             |
| 5     | $y_{51}$   | $y_{52}$   | ... | $y_{5n-1}$  | $y_{5n}$   | $\bar{y}_{s5}$                             |
| 6     | $y_{61}$   | $y_{62}$   | ... | $y_{6n-1}$  | $y_{6n}$   | $\bar{y}_{s6}$                             |
| 7     | $y_{71}$   | $y_{72}$   | ... | $y_{7n-1}$  | $y_{7n}$   | $\bar{y}_{s7}$                             |
| 8     | $y_{81}$   | $y_{82}$   | ... | $y_{8n-1}$  | $y_{8n}$   | $\bar{y}_{s8}$                             |
| 9     | $y_{91}$   | $y_{92}$   | ... | $y_{9n-1}$  | $y_{9n}$   | $\bar{y}_{s9}$                             |
| 10    | $y_{101}$  | $y_{102}$  | ... | $y_{10n-1}$ | $y_{10n}$  | $\bar{y}_{s10}$                            |
| 11    | $y_{111}$  | $y_{112}$  | ... | $y_{11n-1}$ | $y_{11n}$  | $\bar{y}_{s11}$                            |
| 12    | $y_{121}$  | $y_{122}$  | ... | $y_{12n-1}$ | $y_{12n}$  | $\bar{y}_{s12}$                            |
| Итого | $\sum y_i$ | $\sum y_i$ | ... | $\sum y_i$  | $\sum y_i$ | $\bar{y} = \frac{1}{12} \sum \bar{y}_{si}$ |

Ввиду того, что сезонность характеризует внутригодовые колебания при сглаживании уровней ряда ( $y_i$ ) методом скользящей средней, период скользящего должен быть равен году. Тогда удастся погасить влияние сезонности. Для случая, когда год рассматривается как 12-месячный период, то это означает, что сглаживание ряда должно быть произведено двенадцати-членной скользящей средней. Другими словами, скользящая средняя будет определяться выражением:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{12} \sum y_{i2}, \quad (3.2)$$

Сглаженные уровни ( $\hat{y}_i$ ) характеризуют движение числа отцепок вагонов, в котором погашено влияние сезонности. Следует измерить сезонность в виде абсолютной величины  $S_i = y_i - \hat{y}_i$  и в виде коэффициента сезонности  $K_{Si} = \frac{y_i}{\hat{y}_i}$ .

Поскольку анализируются данные за ряд лет (как правило, не менее трех), то для каждого периода года получается несколько коэффициентов сезонности (таблица 3.2). Поэтому рассчитываются средние показатели сезонности:

$$\bar{K}_j = \frac{1}{n} \sum K_{Si}. \quad (3.3)$$

Сезонные колебания взаимопогашаются в течение года. Поэтому сумма коэффициентов (для 12-месячной модели) равна 12. При практических расчетах это равенство может незначительно нарушаться. Поэтому проводится корректировка сезонной компоненты.

Исключение сезонности позволяет получить более ясную картину тенденции. Чтобы удалить сезонную компоненту, необходимо разделить фактический уровень на коэффициент сезонности. Таким образом, получаются значения уровней ряда, обусловленные тенденцией вместе со случайной составляющей.

Далее проводится аналитическое выравнивание этих данных, и получается уравнение тренда – более четкое описание собственно тенденции ряда при элиминировании как сезонности, так и случайной составляющей.

Порядок определения коэффициентов сезонности

| №        | Года              |                   |     |                     |                  | $\bar{K}_j = \frac{1}{n} \sum \frac{y_i}{\bar{y}}$ |
|----------|-------------------|-------------------|-----|---------------------|------------------|----------------------------------------------------|
|          | 1                 | 2                 | ... | n-1                 | n                |                                                    |
| 1        | ---               | $y_{12}/\bar{y}$  | ... | $y_{1n-1}/\bar{y}$  | $y_{1n}/\bar{y}$ | $\bar{K}_1$                                        |
| 2        | ---               | $y_{22}/\bar{y}$  | ... | $y_{2n-1}/\bar{y}$  | $y_{2n}/\bar{y}$ | $\bar{K}_2$                                        |
| 3        | ---               | $y_{32}/\bar{y}$  | ... | $y_{3n-1}/\bar{y}$  | $y_{3n}/\bar{y}$ | $\bar{K}_3$                                        |
| 4        | ---               | $y_{42}/\bar{y}$  | ... | $y_{4n-1}/\bar{y}$  | $y_{4n}/\bar{y}$ | $\bar{K}_4$                                        |
| 5        | ---               | $y_{52}/\bar{y}$  | ... | $y_{5n-1}/\bar{y}$  | $y_{5n}/\bar{y}$ | $\bar{K}_5$                                        |
| 6        | ---               | $y_{62}/\bar{y}$  | ... | $y_{6n-1}/\bar{y}$  | $y_{6n}/\bar{y}$ | $\bar{K}_6$                                        |
| 7        | $y_{71}/\bar{y}$  | $y_{72}/\bar{y}$  | ... | $y_{7n-1}/\bar{y}$  | ---              | $\bar{K}_7$                                        |
| 8        | $y_{81}/\bar{y}$  | $y_{82}/\bar{y}$  | ... | $y_{8n-1}/\bar{y}$  | ---              | $\bar{K}_8$                                        |
| 9        | $y_{91}/\bar{y}$  | $y_{92}/\bar{y}$  | ... | $y_{9n-1}/\bar{y}$  | ---              | $\bar{K}_9$                                        |
| 10       | $y_{101}/\bar{y}$ | $y_{102}/\bar{y}$ | ... | $y_{10n-1}/\bar{y}$ | ---              | $\bar{K}_{10}$                                     |
| 11       | $y_{111}/\bar{y}$ | $y_{112}/\bar{y}$ | ... | $y_{11n-1}/\bar{y}$ | ---              | $\bar{K}_{11}$                                     |
| 12       | $y_{121}/\bar{y}$ | $y_{122}/\bar{y}$ | ... | $y_{12n-1}/\bar{y}$ | ---              | $\bar{K}_{12}$                                     |
| $\Sigma$ |                   |                   |     |                     |                  | $\sum \bar{K}_j = 12$                              |

Используя затем уравнение тренда для прогноза, включаем в прогноз показатель сезонности, то есть проводим суммарный прогноз по тренду с учетом сезонной составляющей. Итак, по уравнению тренда находим теоретические уровни динамического ряда, обусловленные влиянием тенденции, и далее определяем тренд с учетом сезонной компоненты:

$$y_s = \hat{y}_i \cdot K_j. \quad (3.4)$$

Порядок нахождения коэффициентов случайности представлен в таблице 3.3.

Порядок определения коэффициентов случайности

| №                                               | Года          |               |     |                 |               | $\bar{E}_j = \frac{1}{n} \sum \frac{y_i}{y_s}$                       |
|-------------------------------------------------|---------------|---------------|-----|-----------------|---------------|----------------------------------------------------------------------|
|                                                 | 1             | 2             | ... | n-1             | n             |                                                                      |
| 1                                               | $y_{11}/y_s$  | $y_{12}/y_s$  | ... | $y_{1n-1}/y_s$  | $y_{1n}/y_s$  | $\bar{E}_1$                                                          |
| 2                                               | $y_{21}/y_s$  | $y_{22}/y_s$  | ... | $y_{2n-1}/y_s$  | $y_{2n}/y_s$  | $\bar{E}_2$                                                          |
| 3                                               | $y_{31}/y_s$  | $y_{32}/y_s$  | ... | $y_{3n-1}/y_s$  | $y_{3n}/y_s$  | $\bar{E}_3$                                                          |
| 4                                               | $y_{41}/y_s$  | $y_{42}/y_s$  | ... | $y_{4n-1}/y_s$  | $y_{4n}/y_s$  | $\bar{E}_4$                                                          |
| 5                                               | $y_{51}/y_s$  | $y_{52}/y_s$  | ... | $y_{5n-1}/y_s$  | $y_{5n}/y_s$  | $\bar{E}_5$                                                          |
| 6                                               | $y_{61}/y_s$  | $y_{62}/y_s$  | ... | $y_{6n-1}/y_s$  | $y_{6n}/y_s$  | $\bar{E}_6$                                                          |
| 7                                               | $y_{71}/y_s$  | $y_{72}/y_s$  | ... | $y_{7n-1}/y_s$  | $y_{7n}/y_s$  | $\bar{E}_7$                                                          |
| 8                                               | $y_{81}/y_s$  | $y_{82}/y_s$  | ... | $y_{8n-1}/y_s$  | $y_{8n}/y_s$  | $\bar{E}_8$                                                          |
| 9                                               | $y_{91}/y_s$  | $y_{92}/y_s$  | ... | $y_{9n-1}/y_s$  | $y_{9n}/y_s$  | $\bar{E}_9$                                                          |
| 10                                              | $y_{101}/y_s$ | $y_{102}/y_s$ | ... | $y_{10n-1}/y_s$ | $y_{10n}/y_s$ | $\bar{E}_{10}$                                                       |
| 11                                              | $y_{111}/y_s$ | $y_{112}/y_s$ | ... | $y_{11n-1}/y_s$ | $y_{11n}/y_s$ | $\bar{E}_{11}$                                                       |
| 12                                              | $y_{121}/y_s$ | $y_{122}/y_s$ | ... | $y_{12n-1}/y_s$ | $y_{12n}/y_s$ | $\bar{E}_{12}$                                                       |
| $\bar{F}_n = \frac{1}{12} \sum \frac{y_n}{y_s}$ | $\bar{F}_1$   | $\bar{F}_2$   |     | $\bar{F}_{n-1}$ | $\bar{F}_n$   | $\bar{L} = \frac{1}{n} \sum \bar{E}_j = \frac{1}{12} \sum \bar{F}_n$ |

Соответственно, учитывая выше изложенные положения, формулу (3.1) можно представить в виде следующего выражения:

$$y_i = y_t \cdot \bar{K}_s \cdot \bar{E}_i \cdot \bar{L}_j. \quad (3.5)$$

где  $y_i$  – фактические уровни динамического ряда;

$y_t$  – теоретические значения уровней динамического ряда;

$K_s$  – коэффициент сезонности;

$\bar{E}_i$  – коэффициент влияния случайности;

$\bar{F}_j$  – коэффициент влияния тенденции;

$\bar{L}$  – среднее значение коэффициента влияния тенденции.

Уравнения тренда можно получить, используя метод наименьших квадратов. Практика показывает, что основными уравнениями тренда, как правило, являются полиномиальные, экспоненциальные и показательные уравнения.

### **3.2 Практическая реализация методики прогнозирования отцепок вагонов по нагреву буксового узла с применением сезонной компоненты**

На железнодорожном транспорте Российской Федерации на буксовый узел приходится до 61,2 % от общего количества браков по ремонтному вагонному комплексу и до 27 % отцепок вагонов в период гарантийного срока эксплуатации после деповского или капитального ремонта. По данным ВНИИЖТ в первый месяц эксплуатации выходит из строя 35 % буксовых узлов, в первую очередь, по дефектам смазки и грубым нарушениям технологии монтажа [30]. В последующие месяцы растут отцепки по дефектам смазки, торцевого крепления и повреждениям колец подшипника, роликов и сепаратора. Значительная часть неисправностей буксового узла связана с повышением его нагрева с различной интенсивностью.

Контроль состояния буксовых узлов в эксплуатации производится визуально на пунктах технического обслуживания осмотрщиками вагонов, а на перегонах и подходах к пунктам технического обслуживания (ПТО) – напольными бесконтактными средствами теплового контроля (КТСМ) по инфракрасному излучению от букс проходящих поездов. По существу КТСМ

являются основными аппаратными средствами контроля буксовых узлов на российских железных дорогах и большинстве зарубежных дорог.

Данные системы контроля технического состояния подвижного состава позволяют своевременно выявлять появляющиеся в процессе эксплуатации неисправности ходовых частей подвижного состава и тем самым предупреждать возникновение необратимых отказов, способных привести к авариям и крушениям.

Внедрение и развитие системы АСК ПС позволило создать процесс накопления информации об отказах, связанных с отцепками грузовых вагонов по нагреву буксового узла и задержкам грузовых поездов по неисправностям тормозного оборудования подвижного состава как по количественному признаку, так и по географическому распределению относительно Дороги. Автором была проанализирована информация отцепок вагонов по коду 150 с 2007 по 2012 гг., в результате чего установлено, что число отцепок грузовых вагонов по нагреву буксового узла имеет неравномерную структуру по временам года или, другими словами, сезонные колебания, а также тенденцию развития.

На рисунке 3.1 представлен исходный динамический ряд по отцепкам грузовых вагонов на полигоне Забайкальской ж. д. по нагреву буксового узла за период с 2007–2012 гг. На рисунке 3.2. представлены результаты сглаживания динамического ряда методом скользящей средней в сравнении с аппроксимирующей кривой. Эти данные определяют общую тенденцию поведения случайной величины. Как видно из рисунка теоретическая кривая на 96 % совпадает с эмпирической кривой. В таблицах 3.4 и 3.5 представлены значения коэффициентов сезонности и случайности. Результаты и порядок расчета прогнозирования числа отцепок по нагреву буксового узла изложен в таблице 3.6.

Результаты прогнозирования отражены на графике (рисунок 3.3), на котором видно, что полученная модель достаточно хорошо описывает фактические уровни исходного динамического ряда [31].

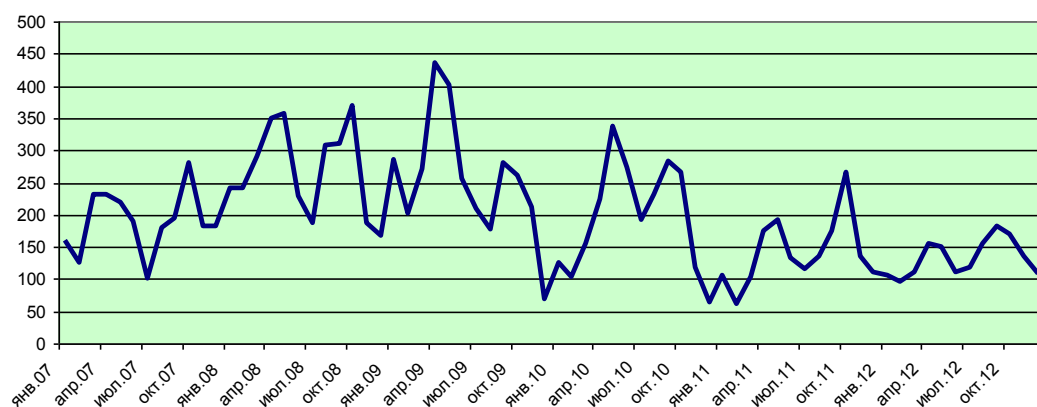


Рисунок 3.1 – Динамический временной ряд по числу отцепок грузовых вагонов на Забайкальской ж. д. из-за нагрева буксового узла

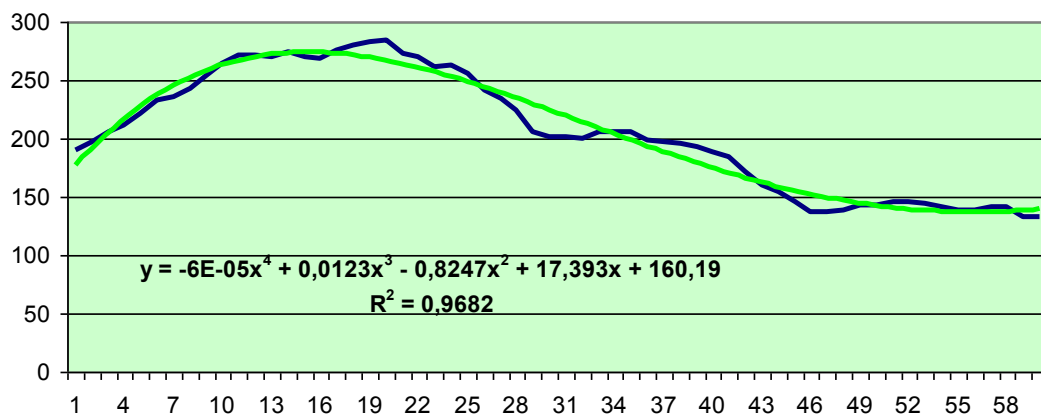


Рисунок 3.2 – Фактический ряд сглаженных значений по отцепкам вагонов в ТОП в сравнении с теоретической кривой тенденции



Рисунок 3.3 – Фактический динамический ряд по числу отцепок вагонов из-за нагрева буксового узла в сравнении с прогнозирующей кривой

Таблица 3.4

## Значение коэффициентов сезонности

| Месяц    | Год      |         |         |         |         |         | $\bar{K}_j = \frac{1}{n} \sum \frac{y_i}{y}$ |
|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------------------------------------|
|          | 2007     | 2008    | 2009    | 2010    | 2011    | 2012    |                                              |
| Январь   | ---      | 1,02506 | 1,01328 | 0,62350 | 0,65522 | 0,76167 | 0,832572                                     |
| Февраль  | ---      | 0,99452 | 0,7143  | 0,51827 | 0,39653 | 0,68222 | 0,678005                                     |
| Март     | ---      | 1,14173 | 0,99572 | 0,75060 | 0,70588 | 0,79479 | 0,894571                                     |
| Апрель   | ---      | 1,32743 | 1,61133 | 1,09046 | 1,28467 | 1,09605 | 1,298812                                     |
| Май      | ---      | 1,32062 | 1,53728 | 1,63658 | 1,39416 | 1,1325  | 1,421052                                     |
| Июнь     | ---      | 0,84714 | 0,97533 | 1,37762 | 0,95364 | 0,825   | 1,01257                                      |
| Июль     | 0,527009 | 0,69195 | 0,82272 | 0,97598 | 0,81451 | ---     | 0,783256                                     |
| Август   | 0,920338 | 1,12808 | 0,73165 | 1,17857 | 0,95438 | ---     | 0,999427                                     |
| Сентябрь | 0,945072 | 1,14901 | 1,19828 | 1,47076 | 1,21101 | ---     | 1,211651                                     |
| Октябрь  | 1,330702 | 1,37461 | 1,16604 | 1,41895 | 1,82772 | ---     | 1,440429                                     |
| Ноябрь   | 0,823218 | 0,67671 | 1,02344 | 0,64072 | 0,93533 | ---     | 0,836709                                     |
| Декабрь  | 0,781954 | 0,59642 | 0,33873 | 0,36627 | 0,78723 | ---     | 0,590946                                     |
| Σ        | ---      | ---     | ---     | ---     | ---     | ---     | 12                                           |

Таблица 3.5

## Значение коэффициентов случайности и тенденции

| Месяц                                           | Год      |         |         |         |         |         | $\bar{E}_j = \frac{1}{n} \sum \frac{y_i}{y_s}$ |
|-------------------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------------------------------------|
|                                                 | 2007     | 2008    | 2009    | 2010    | 2011    | 2012    |                                                |
| Январь                                          | 1,080352 | 1,06770 | 1,38331 | 0,81672 | 0,94442 | 1,12103 | 1,06892                                        |
| Февраль                                         | 0,969050 | 1,30505 | 1,22870 | 0,85182 | 0,68894 | 1,23708 | 1,04677                                        |
| Март                                            | 1,263396 | 1,18312 | 1,27322 | 0,98390 | 0,90034 | 1,10683 | 1,11844                                        |
| Апрель                                          | 0,818330 | 0,98419 | 1,43605 | 1,01456 | 1,08044 | 1,05508 | 1,06478                                        |
| Май                                             | 0,672729 | 0,92297 | 1,23769 | 1,43582 | 1,09101 | 0,93845 | 1,04978                                        |
| Июнь                                            | 0,790275 | 0,83664 | 1,13688 | 1,67975 | 1,07549 | 0,95754 | 1,07943                                        |
| Июль                                            | 0,519826 | 0,88593 | 1,23069 | 1,57926 | 1,23971 | 1,31308 | 1,12808                                        |
| Август                                          | 0,716944 | 1,15809 | 0,83379 | 1,52321 | 1,15373 | 1,36761 | 1,12556                                        |
| Сентябрь                                        | 0,622583 | 0,97228 | 1,11675 | 1,58180 | 1,24518 | 1,31136 | 1,14166                                        |
| Октябрь                                         | 0,740766 | 0,98569 | 0,89942 | 1,28912 | 1,60373 | 1,02653 | 1,09088                                        |
| Ноябрь                                          | 0,814015 | 0,87021 | 1,28654 | 1,00633 | 1,40648 | 1,39833 | 1,13032                                        |
| Декабрь                                         | 1,139996 | 1,11820 | 0,60366 | 0,77974 | 1,64694 | 1,5933  | 1,14699                                        |
| $\bar{F}_n = \frac{1}{12} \sum \frac{y_n}{y_s}$ | 0,845688 | 1,02417 | 1,13889 | 1,21184 | 1,17303 | 1,20219 | 1,09931                                        |

## Расчетные значения прогнозирующего тренда

| Номер месяца | Год  | Месяц    | Число отцепок | Скользящие средние | Значение случайной величины по тенденции | Коэффициент влияния сезонности | Коэффициент влияния случайности | Коэффициент влияния тенденции | Значение прогнозируемой величины |
|--------------|------|----------|---------------|--------------------|------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 1            | 2007 | январь   | 159           | ---                | 176,7705                                 | 0,8326                         | 1,0689                          | 0,8457                        | 133                              |
| 2            |      | февраль  | 126           | ---                | 191,7746                                 | 0,6780                         | 1,0468                          | 0,8457                        | 115                              |
| 3            |      | март     | 232           | ---                | 205,2739                                 | 0,8946                         | 1,1185                          | 0,8457                        | 174                              |
| 4            |      | апрель   | 231           | ---                | 217,3386                                 | 1,2988                         | 1,0648                          | 0,8457                        | 254                              |
| 5            |      | май      | 218           | ---                | 228,0375                                 | 1,4211                         | 1,0498                          | 0,8457                        | 288                              |
| 6            |      | июнь     | 190           | ---                | 237,4378                                 | 1,0126                         | 1,0794                          | 0,8457                        | 219                              |
| 7            |      | июль     | 100           | 189,7500           | 245,6055                                 | 0,7833                         | 1,1281                          | 0,8457                        | 184                              |
| 8            |      | август   | 181           | 196,6667           | 252,6050                                 | 0,9994                         | 1,1256                          | 0,8457                        | 240                              |
| 9            |      | сентябрь | 195           | 206,3333           | 258,4993                                 | 1,2117                         | 1,1417                          | 0,8457                        | 302                              |
| 10           |      | октябрь  | 281           | 211,1667           | 263,3500                                 | 1,4404                         | 1,0909                          | 0,8457                        | 350                              |
| 11           |      | ноябрь   | 182           | 221,0833           | 267,2171                                 | 0,8367                         | 1,1303                          | 0,8457                        | 214                              |
| 12           |      | декабрь  | 182           | 232,7500           | 270,1594                                 | 0,5909                         | 1,1470                          | 0,8457                        | 155                              |
| 13           | 2008 | январь   | 242           | 236,0833           | 272,2341                                 | 0,8326                         | 1,0689                          | 1,0242                        | 248                              |
| 14           |      | февраль  | 242           | 243,3333           | 273,4970                                 | 0,6780                         | 1,0468                          | 1,0242                        | 199                              |
| 15           |      | март     | 290           | 254,0000           | 274,0025                                 | 0,8946                         | 1,1185                          | 1,0242                        | 281                              |
| 16           |      | апрель   | 350           | 263,6667           | 273,8034                                 | 1,2988                         | 1,0648                          | 1,0242                        | 388                              |
| 17           |      | май      | 358           | 271,0833           | 272,9513                                 | 1,4211                         | 1,0498                          | 1,0242                        | 417                              |
| 18           |      | июнь     | 230           | 271,5000           | 271,4962                                 | 1,0126                         | 1,0794                          | 1,0242                        | 304                              |
| 19           |      | июль     | 187           | 270,2500           | 269,4867                                 | 0,7833                         | 1,1281                          | 1,0242                        | 244                              |
| 20           |      | август   | 309           | 273,9167           | 266,9700                                 | 0,9994                         | 1,1256                          | 1,0242                        | 308                              |
| 21           |      | сентябрь | 311           | 270,6667           | 263,9917                                 | 1,2117                         | 1,1417                          | 1,0242                        | 374                              |
| 22           |      | октябрь  | 370           | 269,1667           | 260,5962                                 | 1,4404                         | 1,0909                          | 1,0242                        | 419                              |
| 23           |      | ноябрь   | 187           | 276,3333           | 256,8263                                 | 0,8367                         | 1,1303                          | 1,0242                        | 249                              |
| 24           |      | декабрь  | 167           | 280,0000           | 252,7234                                 | 0,5909                         | 1,1470                          | 1,0242                        | 175                              |
| 13           | 2009 | январь   | 286           | 282,2500           | 248,3275                                 | 0,8326                         | 1,0689                          | 1,1389                        | 252                              |
| 14           |      | февраль  | 203           | 284,1667           | 243,6770                                 | 0,6780                         | 1,0468                          | 1,1389                        | 197                              |
| 15           |      | март     | 272           | 273,1667           | 238,8091                                 | 0,8946                         | 1,1185                          | 1,1389                        | 272                              |
| 16           |      | апрель   | 436           | 270,5833           | 233,7594                                 | 1,2988                         | 1,0648                          | 1,1389                        | 368                              |
| 17           |      | май      | 402           | 261,5000           | 228,5621                                 | 1,4211                         | 1,0498                          | 1,1389                        | 388                              |
| 18           |      | июнь     | 257           | 263,5000           | 223,2500                                 | 1,0126                         | 1,0794                          | 1,1389                        | 278                              |
| 19           |      | июль     | 210           | 255,2500           | 217,8543                                 | 0,7833                         | 1,1281                          | 1,1389                        | 219                              |
| 20           |      | август   | 177           | 241,9167           | 212,4050                                 | 0,9994                         | 1,1256                          | 1,1389                        | 272                              |
| 21           |      | сентябрь | 280           | 233,6667           | 206,9305                                 | 1,2117                         | 1,1417                          | 1,1389                        | 326                              |
| 22           |      | октябрь  | 261           | 223,8333           | 201,4578                                 | 1,4404                         | 1,0909                          | 1,1389                        | 361                              |
| 23           |      | ноябрь   | 211           | 206,1667           | 196,0125                                 | 0,8367                         | 1,1303                          | 1,1389                        | 211                              |
| 24           |      | декабрь  | 68            | 200,7500           | 190,6186                                 | 0,5909                         | 1,1470                          | 1,1389                        | 147                              |

| Номер месяца | Год  | Месяц    | Число отцепок | Скользящие средние | Значение случайной величины по тенденции | Коэффициент влияния сезонности | Коэффициент влияния случайности | Коэффициент влияния тенденции | Значение прогнозируемой величины |
|--------------|------|----------|---------------|--------------------|------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 25           | 2010 | январь   | 126           | 202,0833           | 185,2989                                 | 0,8326                         | 1,0689                          | 1,2118                        | 200                              |
| 26           |      | февраль  | 104           | 200,6667           | 180,0746                                 | 0,6780                         | 1,0468                          | 1,2118                        | 155                              |
| 27           |      | март     | 154           | 205,1667           | 174,9655                                 | 0,8946                         | 1,1185                          | 1,2118                        | 212                              |
| 28           |      | апрель   | 224           | 205,4167           | 169,9900                                 | 1,2988                         | 1,0648                          | 1,2118                        | 285                              |
| 29           |      | май      | 337           | 205,9167           | 165,1649                                 | 1,4211                         | 1,0498                          | 1,2118                        | 299                              |
| 30           |      | июнь     | 273           | 198,1667           | 160,5058                                 | 1,0126                         | 1,0794                          | 1,2118                        | 213                              |
| 31           |      | июль     | 193           | 197,7500           | 156,0267                                 | 0,7833                         | 1,1281                          | 1,2118                        | 167                              |
| 32           |      | август   | 231           | 196,0000           | 151,7402                                 | 0,9994                         | 1,1256                          | 1,2118                        | 207                              |
| 33           |      | сентябрь | 283           | 192,4167           | 147,6575                                 | 1,2117                         | 1,1417                          | 1,2118                        | 248                              |
| 34           |      | октябрь  | 267           | 188,1667           | 143,7882                                 | 1,4404                         | 1,0909                          | 1,2118                        | 274                              |
| 35           |      | ноябрь   | 118           | 184,1667           | 140,1407                                 | 0,8367                         | 1,1303                          | 1,2118                        | 161                              |
| 36           |      | декабрь  | 63            | 172,0000           | 136,7218                                 | 0,5909                         | 1,1470                          | 1,2118                        | 112                              |
| 37           | 2011 | январь   | 105           | 160,2500           | 133,5369                                 | 0,8326                         | 1,0689                          | 1,1730                        | 139                              |
| 38           |      | февраль  | 61            | 153,8333           | 130,5900                                 | 0,6780                         | 1,0468                          | 1,1730                        | 109                              |
| 39           |      | март     | 103           | 145,9167           | 127,8835                                 | 0,8946                         | 1,1185                          | 1,1730                        | 150                              |
| 40           |      | апрель   | 176           | 137,0000           | 125,4186                                 | 1,2988                         | 1,0648                          | 1,1730                        | 203                              |
| 41           |      | май      | 191           | 137,0000           | 123,1949                                 | 1,4211                         | 1,0498                          | 1,1730                        | 216                              |
| 42           |      | июнь     | 132           | 138,4167           | 121,2106                                 | 1,0126                         | 1,0794                          | 1,1730                        | 155                              |
| 43           |      | июль     | 116           | 142,4167           | 119,4625                                 | 0,7833                         | 1,1281                          | 1,1730                        | 124                              |
| 44           |      | август   | 136           | 142,5000           | 117,9458                                 | 0,9994                         | 1,1256                          | 1,1730                        | 156                              |
| 45           |      | сентябрь | 176           | 145,3333           | 116,6545                                 | 1,2117                         | 1,1417                          | 1,1730                        | 189                              |
| 46           |      | октябрь  | 267           | 146,0833           | 115,5810                                 | 1,4404                         | 1,0909                          | 1,1730                        | 213                              |
| 47           |      | ноябрь   | 135           | 144,3333           | 114,7163                                 | 0,8367                         | 1,1303                          | 1,1730                        | 127                              |
| 48           |      | декабрь  | 111           | 141,0000           | 114,0500                                 | 0,5909                         | 1,1470                          | 1,1730                        | 91                               |
| 49           | 2012 | январь   | 106           | 139,1667           | 113,5701                                 | 0,8326                         | 1,0689                          | 1,2022                        | 122                              |
| 50           |      | февраль  | 95            | 139,2500           | 113,2634                                 | 0,6780                         | 1,0468                          | 1,2022                        | 97                               |
| 51           |      | март     | 112           | 140,9167           | 113,1151                                 | 0,8946                         | 1,1185                          | 1,2022                        | 136                              |
| 52           |      | апрель   | 155           | 141,4167           | 113,1090                                 | 1,2988                         | 1,0648                          | 1,2022                        | 188                              |
| 53           |      | май      | 151           | 133,3333           | 113,2275                                 | 1,4211                         | 1,0498                          | 1,2022                        | 203                              |
| 54           |      | июнь     | 110           | 133,3333           | 113,4514                                 | 1,0126                         | 1,0794                          | 1,2022                        | 149                              |
| 55           |      | июль     | 117           | ---                | 113,7603                                 | 0,7833                         | 1,1281                          | 1,2022                        | 121                              |
| 56           |      | август   | 156           | ---                | 114,1322                                 | 0,9994                         | 1,1256                          | 1,2022                        | 154                              |
| 57           |      | сентябрь | 182           | ---                | 114,5437                                 | 1,2117                         | 1,1417                          | 1,2022                        | 190                              |
| 58           |      | октябрь  | 170           | ---                | 114,9700                                 | 1,4404                         | 1,0909                          | 1,2022                        | 217                              |
| 59           |      | ноябрь   | 135           | ---                | 115,3847                                 | 0,8367                         | 1,1303                          | 1,2022                        | 131                              |
| 60           |      | декабрь  | 109           | ---                | 115,7602                                 | 0,5909                         | 1,1470                          | 1,2022                        | 94                               |

| Номер месяца | Год  | Месяц    | Число отцепок | Скользящие средние | Значение случайной величины по тенденции | Коэффициент влияния сезонности | Коэффициент влияния случайности | Коэффициент влияния тенденции | Значение прогнозируемой величины |
|--------------|------|----------|---------------|--------------------|------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 61           | 2013 | январь   | ---           | ---                | 116,0673                                 | 0,8326                         | 1,0689                          | 1,0993                        | 114                              |
| 62           |      | февраль  | ---           | ---                | 116,2754                                 | 0,6780                         | 1,0468                          | 1,0993                        | 91                               |
| 63           |      | март     | ---           | ---                | 116,3525                                 | 0,8946                         | 1,1185                          | 1,0993                        | 128                              |
| 64           |      | апрель   | ---           | ---                | 116,2650                                 | 1,2988                         | 1,0648                          | 1,0993                        | 177                              |
| 65           |      | май      | ---           | ---                | 115,9781                                 | 1,4211                         | 1,0498                          | 1,0993                        | 190                              |
| 66           |      | июнь     | ---           | ---                | 115,4554                                 | 1,0126                         | 1,0794                          | 1,0993                        | 139                              |
| 67           |      | июль     | ---           | ---                | 114,6591                                 | 0,7833                         | 1,1281                          | 1,0993                        | 111                              |
| 68           |      | август   | ---           | ---                | 113,5500                                 | 0,9994                         | 1,1256                          | 1,0993                        | 140                              |
| 69           |      | сентябрь | ---           | ---                | 112,0873                                 | 1,2117                         | 1,1417                          | 1,0993                        | 170                              |
| 70           |      | октябрь  | ---           | ---                | 110,2290                                 | 1,4404                         | 1,0909                          | 1,0993                        | 190                              |
| 71           |      | ноябрь   | ---           | ---                | 107,9315                                 | 0,8367                         | 1,1303                          | 1,0993                        | 112                              |
| 72           |      | декабрь  | ---           | ---                | 105,1498                                 | 0,5909                         | 1,1470                          | 1,0993                        | 78                               |

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- число отцепок грузовых вагонов по нагреву буксового узла необходимо рассматривать как случайную величину, которая во времени может быть предсказана с помощью функции, обуславливающей влияние тенденции, сезонности и случайности;

- разработанная модель прогноза отцепок грузовых вагонов по нагреву буксового узла может быть использована в качестве обоснования востребованных объемов исправных колесных пар на ПТО для организации своевременного ремонта вагонов.

### **Выводы по третьей главе**

1. Представлена уточненная структура метаматематической модели прогнозирования случайной величины с использованием случайной компоненты, которая учитывает влияние тенденции, сезонности и случайности.
2. Систематизированы данные по отцепкам грузовых вагонов на Забайкальской ж. д. по нагреву буксового узла за период с 2007–2012 гг.
3. Доказано, что число отцепок грузовых вагонов по нагреву буксового узла может рассматриваться как случайная величина, которая во времени может быть предсказана с помощью функции, обуславливающей влияние тенденции, сезонности и случайности. В ходе расчетов получены прогнозируемые объемы отцепок грузовых вагонов по коду 150 на полигоне Забайкальской ж. д. на 2013 г.
4. Разработанная модель прогноза отцепок грузовых вагонов по нагреву буксового узла может быть использована для заявочной кампании в качестве обоснования востребованных объемов исправных колесных пар на ПТО для организации своевременного ремонта вагонов.

## **4 Оценка влияния эксплуатационной безопасности грузовых вагонов на протяженность гарантийного участка**

### **4.1 Теоретическая модель безопасной эксплуатации грузовых вагонов**

Известно, что до 40 % всех нарушений безопасности движения падает на вагонное и путевое хозяйства. При этом по числу браков в работе вагонное хозяйство лидирует. Так, по данным ОАО «РЖД» каждый третий случай брака от общего их числа на сети дорог происходит по вине вагонного хозяйства, каждый третий сход подвижного состава в организованных поездах – из-за технической неисправности вагонов.

Множество причин транспортных происшествий обычно разбивают на следующие группы (или источники опасности транспортных происшествий) [8, с. 244].

1. Причины, возникающие вследствие отказов техники – колесных пар, боковин, надрессорных балок тележек, автосцепных устройств, тормозного оборудования и др.

2. Причины, возникающие из-за ошибочных действий или бездействий оперативного персонала вагонного хозяйства, так называемый человеческий фактор: халатное отношение к своим трудовым обязанностям, низкая квалификация, нарушения трудовой и технологической дисциплины.

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

Причины, входящие в первый источник опасности транспортных происшествий, устраняются, в основном, на этапе проектирования, конструирования, изготовления вагона, для чего используется арсенал методов расчета напряженно-деформационного состояния, обеспечения прочности и

надежности за счет технологических методов упрочнения, совершенствования конструкций.

Любое из мероприятий, направленных на устранение причин упомянутых трех групп, для своей реализации требует определенных ресурсов – материальных, трудовых, финансовых, затрат времени. Поэтому необходимо учитывать эффективность мероприятий, которые обычно включаются в отраслевые программы обеспечения безопасности. Перед транспортной наукой стоит задача создания методологической основы для оценок эффективности (в рассматриваемом выше смысле) мероприятий по обеспечению безопасности движения.

На безопасность эксплуатации вагонов влияет огромное количество факторов. Важно грамотно распределить силы и средства для эффективной организации глубокоэшелонированной защиты вагона от аварий и крушений. Решить эту задачу, опираясь только на интуицию и опыт, невозможно. Необходимо применять научные методы, основанные на разработке и анализе моделей безопасности вагона. При этом должны использоваться два типа моделей.

Пребывание вагона в скрытом аварийном состоянии может завершиться следующими событиями:

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

Интерес представляет два события: вхождение вагона в скрытое аварийное состояние и варианты выхода из него. На вероятности этих событий влияет соотношение таких факторов, как прочность и живучесть конструкции, периодичность плановых ремонтов, квалификация осматривщиков и др. Видимо,

эти факторы и определяют содержание такого свойства вагона, как его безопасность.

Так, для уменьшения вероятности вхождения вагона в САС необходимо установить правильное соотношение между безотказностью  $\xi$  и периодичностью плановых ремонтов, точнее, параметром безопасности вагона  $l_{БД}$  [8, с. 253]. Из двух ситуаций, показанных на рисунке 4.1, 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.

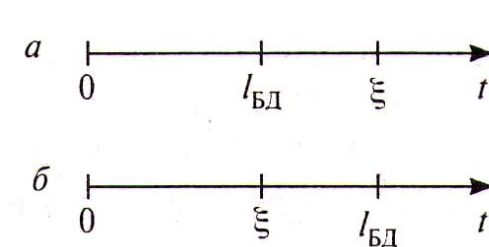


Рисунок 4.1 – Факторы, определяющие вхождение вагона в САС

Прежде чем переходить к анализу указанных выше вариантов из САС, дадим некоторые пояснения к такому свойству объектов, как живучесть. Под живучестью будем понимать внутреннее свойство систем, обеспечивающее постепенное приближение к полной утрате работоспособности или к полной потере способности выполнения своих функций при отказе какого-либо агрегата или элемента при воздействии на него неблагоприятных, ненормируемых нагрузок.

Приступим теперь к краткому анализу вариантов выхода вагона из САС, для чего воспользуемся наглядной интерпретацией явления, представленной на рисунке 4.2.

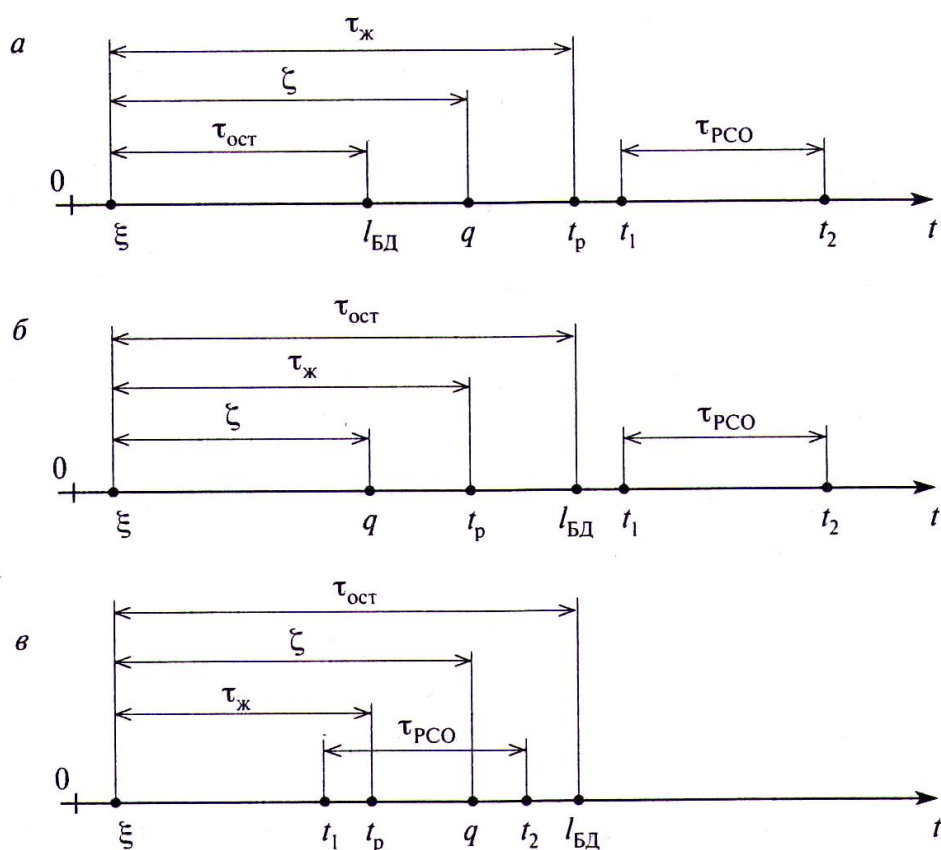


Рисунок 4.2 – Варианты выхода вагона из скрытого аварийного состояния

**Первый вариант** [8, с. 254] выхода из САС характеризуется следующими условиями (рисунок 4.2, а):  $\tau_{ж} > \tau_{ост}$ ;  $\zeta > \tau_{ост}$ ;  $t_1 > l_{БД}$ , где  $\zeta$  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;  $\tau_{ост} = l_{БД} - \zeta$  – наработка аварийного вагона до ближайшего планового ремонта (деповского или капитального) или глубокой диагностики;  $\zeta$  – промежуток времени между моментами появления и обнаружения опасного отказа ( $\zeta = q - \xi$ );  $\tau_{PCO} = t_1 - t_2$  – продолжительность действия РСО.

Понятно, что величины  $\zeta$ ,  $q$ ,  $\xi$ ,  $\tau_{ж}$ ,  $\tau_{ост}$ ,  $t_p$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  являются случайными, а на рисунке 4.2 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 глубокую диагностику, необходимы несущие ответственные узлы, запас живучести которых  $\tau_{жс}$  был бы сопоставим с величиной  $l_{БД}$  – максимально допустимым пробегом вагона между глубокими диагностиками (например, в рамках ДР). 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** [8, с. 256] выхода вагона из САС (рисунок 4.2, б) характеризуется следующими условиями:  $\tau_{ост} > \zeta$ ;  $\tau_{жс} > \zeta$ ;  $t_1 > q$ .

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  $\zeta$  – повышение квалификации осматривщиков, совершенствование вагонных конструкций в части их контролепригодности и т. п.

**Третий вариант** [8, с. 256] выхода вагона из САС (рисунок 4.2, в) характеризуется следующим условием:  $\tau_{жс} < \zeta < \tau_{ост}$ .

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).

#### 4.2 Математическая модель оптимизации длины гарантийных участков на основе оценки параметров безопасности грузовых вагонов

*Математическая постановка задачи:* необходимо найти способы расчетного обоснования гарантийного плеча ПТО (обозначим его через  $l_{гв}$ ), то есть периодичности контроля технического состояния вагона на технических станциях. Тем более, что в последние годы руководством ОАО «РЖД» ставится вопрос об увеличении этих плеч. Эти требования включены в Федеральную программу «Подвижной состав железных дорог».

*Объект оптимизации:* в качестве объекта оптимизации принят так называемый план контроля технического состояния вагона (рисунок 4.3) на отрезке  $(0, l_{\delta\delta})$  в виде вектора-строки [32]:

$$X_n = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (4.1)$$

где  $x_i$  – пробег вагона до  $i$ -го контроля технического состояния;

$n$  – число контролей технического состояния вагона на отрезке  $(0; \bar{l}_{\delta\delta})$ ;

$l_{\delta\delta}$  – периодичность глубокой диагностики грузового вагона.

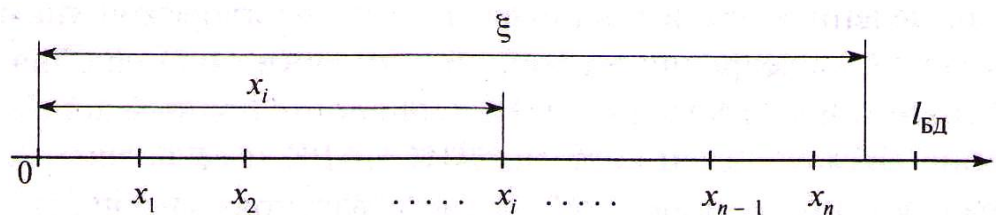


Рисунок 4.3 – План контроля технического состояния вагона

*Критерий оптимизации:* в качестве целевой функции воспользуемся так называемой функцией эксплуатационных потерь [32, с. 98]:

$$G_{X_n}(\xi) = \begin{cases} n \cdot c; \text{ при } \xi > l_{\text{од}} \\ n \cdot c + (l_{\text{од}} - \xi) \cdot V; \text{ при } x_n < \xi < l_{\text{од}} \\ k \cdot c + P \cdot [(x_{k+1} - \xi) \cdot V + c] + P \sum_{s=1}^{n-k-1} (1-P)^s \cdot [(x_{k+s+1} - \xi) \cdot V + (s+1) \cdot c] + \\ + [(l_{\text{од}} - \xi) \cdot V + (n-k) \cdot c]; \text{ при } x_k < \xi < x_{k+1}; k = (0; n-1) \end{cases} \quad (4.2)$$

где  $\xi$  – наработка вагона до отказа;

$c$  – затраты на один контроль технического состояния вагона;

$V$  – средняя величина потерь от пребывания вагона в скрытом аварийном состоянии в единицу времени;

$P$  – вероятность обнаружения отказа осмотрщиком вагона.

Величину «с» предлагается оценивать с помощью формулы [32, с. 100]:

$$c = 0,16 \frac{S}{N}, \quad (4.3)$$

где  $S$  – среднемесячные затраты на содержание и обеспечение работы ПТО;

$N$  – количество вагонов, проследовавших через данную станцию за указанный срок;

0,16 – коэффициент, показывающий удельный вес затрат труда на технические осмотры в условиях ПТО.

Более весомые трудности возникают при определении величины «V», так как учесть ожидаемые затраты из-за использования вагона со скрытым отказом по понятным причинам сложно. Однако не вызывает сомнений тот факт, что устранение последствий даже одной аварии или крушения средних размеров окупает самые дорогостоящие программы и мероприятия, направленные на своевременное обнаружение отказов.

Поэтому нужна такая процедура оценки «V», благодаря которой в метод оптимизации плана  $X_n$  закладывалась хотя бы часть нашего страха перед крушением поездов на транспорте.

Таких процедур много. Остановимся на той, в основе которой лежит представление о величине «V» 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  $l_{\sigma\sigma}$ , остановимся на том, которое произошло по вине ВХ. По данным служебного расследования рассматриваемого крушения найдем ущерб, который имели транспорт, клиентура и сторонние организации. Эти затраты в дальнейшем будем трактовать как ожидаемый ущерб от крушения.

Итак, величину «V» рекомендуется вычислять [8, с. 271] по формуле:

$$V = \frac{\Pi}{l_{\sigma\sigma}} \cdot R, \quad (4.4)$$

где  $\Pi$  – ожидаемый ущерб от крушения;

$R$  – закладываемый риск (вероятность) крушения по вине ВХ за период времени, равный  $l_{\sigma\sigma}$ .

Возникает новый вопрос – назначение величины «R». Можно предложить два варианта его развития:

1. Положить «R», равную вероятности безопасности пешехода на улицах провинциального города, то есть  $R = 10^{-4} \div 10^{-5}$  – тот уровень опасности, с которым как бы смирились люди [8, с. 271].

2. В качестве целевой функции используется формула вероятности безотказной работы (точнее говоря, коэффициент оперативной готовности) вагона. Обозначим эту вероятность через  $P(l_{\sigma\sigma})$ . Из условия максимума этой вероятности определяется оптимальное значение  $l_{\sigma\sigma}^{opt}$ . Тогда величину «R» легко подсчитать по формуле

$$R = 1 - P(l_{\delta\delta}^{onm}). \quad (4.5)$$

Аргумент функции  $G_{X_n}(\xi)$  является случайной величиной, функцию распределения которой обозначим через  $F(x)$ . Поэтому в дальнейшем будем оперировать выражением для средних потерь за период  $l_{\delta\delta}$  [8, с. 272]:

$$MG_{X_n}(\xi) = \int_0^{l_{\delta\delta}} G_{X_n}(x) dF(x) + G_{X_n}(l_{\delta\delta}) \cdot \bar{F}(l_{\delta\delta}). \quad (4.6)$$

По предположению функция  $F(x)$  для нас неизвестна. Чтобы обойти это препятствие, нам помогут следующие рассуждения. Математическое ожидание эксплуатационных потерь зависит от функции  $F(x)$ . Поэтому нам ничего не мешает предположить, что существует такая функция  $F^*(x)$ , на которой достигается максимум потерь [8, с. 272]:

$$\max MG_{X_n}(\xi). \quad (4.7)$$

Теперь остается на интервале  $(0, l_{\delta\delta})$  выбрать такой план контроля технического состояния вагона  $X_n^*$ , при котором выражение  $\max MG_{X_n}(\xi)$  достигает минимума [8, с. 272]:

$$\min_{X_n} \max_F MG_{X_n}(\xi). \quad (4.8)$$

Последнее выражение и есть критерий оптимизации плана контроля технического состояния  $X_n$  вагона.

*Результат решения задачи.* Минимаксная задача  $\min_{X_n} \max_F MG_{X_n}(\xi)$  решена в замкнутом виде. Оптимальные моменты времени  $x_i$ , в которые следовало бы проверять техническое состояние вагона, вычисляются по формуле [8, с. 273]

$$x_i = iP \cdot \left\{ \frac{l_{\delta\delta}}{n^* \cdot P + 1} + \frac{c}{2V} \cdot \left( \frac{n^* \cdot [(n^* + 1)P + 2]}{n^* \cdot P + 1} \right) - (i + 1) \right\}. \quad (4.9)$$

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

$$cP^2 n^2 + cP(2 - P)n + 2(c - PVl_{\delta\delta}) \leq 0. \quad (4.10)$$

Как видно из выражения, оптимальная периодичность проверок технического состояния переменна, что, в принципе, возможно реализовать на практике.

Однако, учитывая минимаксную постановку задачи, вполне допустимо использовать в эксплуатации приближенное значение периодичности контроля технического состояния вагонов, которое рекомендуется вычислить по формуле [8, с. 273]

$$l_{\Gamma V} = \frac{l_{\delta\delta}}{n^*}. \quad (4.11)$$

### 4.3 Статистическая оценка живучести боковых рам с критическим дефектом

В период с 2006 г. по настоящее время на сети дорог произошло 112 случаев изломов боковых рам тележек, в том числе изломы боковых рам тележек модели 18-578, повлекших за собой сходы с рельсов подвижного состава, и эта цифра продолжает расти (рисунок 4.4).

Главной причиной указанных случаев стало несовершенство технологии изготовления литых деталей тележек и, как следствие, их низкое качество. В результате возникла серьезная угроза безопасности движения поездов, а также возросли убытки ОАО «РЖД» и других участников перевозочного процесса.

В период с 2006 по 2013 гг. произошло 110 изломов боковых рам со сроком эксплуатации до 6 лет [39]. Количество изломов в зависимости от завода-изготовителя представлено на диаграмме (рисунок 4.5).

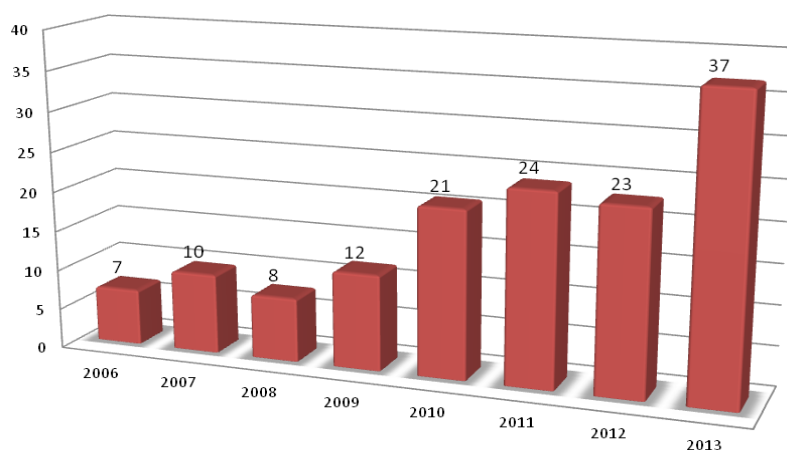


Рисунок 4.4 – Динамика изломов боковых рам грузовых вагонов по сети дорог

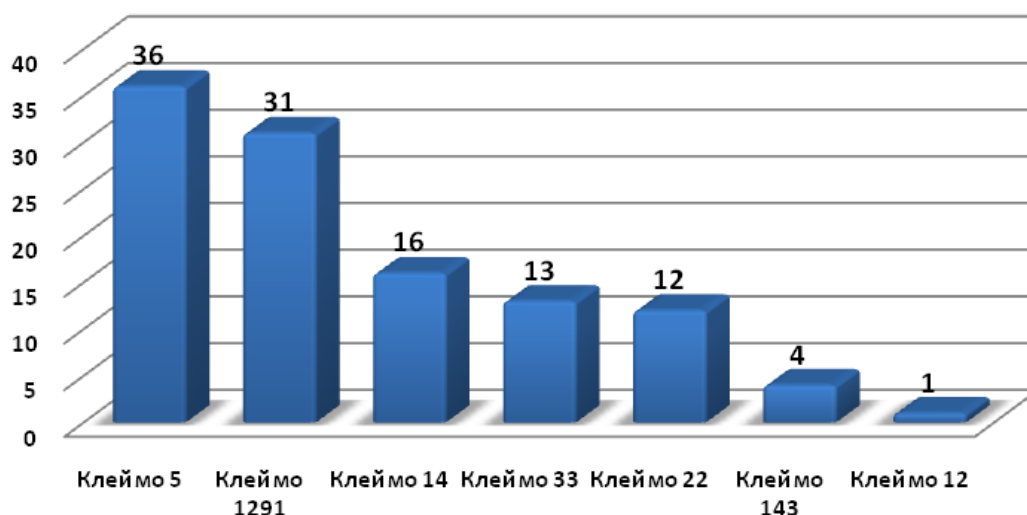


Рисунок 4.5 – Количество изломов боковых рам со сроком эксплуатации до шести лет в зависимости от завода-изготовителя в период с 2006 по 2013 гг.

Под безопасностью вагона следует понимать его свойство, заключающееся в предсказуемости его переходов в процессе эксплуатации в аварийные состояния, которые могут привести к непоправимым последствиям для человека и природной среды [40].

Под опасным отказом вагона следует понимать событие, состоящее в переходе его в аварийное состояние – состояние, которое при наложении на него рокового сочетания обстоятельств может немедленно привести к транспортному происшествию с весьма тяжелыми последствиями – к аварии или крушению поезда. Переход конструкций, в том числе вагонных, в это состояние происходит из-за недостаточной прочности или ее исчерпанию в процессе эксплуатации, низкого качества и несвоевременности ремонта и так далее.

Часть подобных причин является объективной. Например, пока не существует технических средств контроля процесса накопления усталостных повреждений в материале конструкции, следовательно, не существует и фиксации предпредельного состояния. В результате наступает момент времени, случайный для обслуживающего персонала, когда вследствие цикличности нагружения запас прочности в материале будет исчерпан – материал переходит

в хрупкое состояние, разрушение в этом смысле может наступить в любой момент времени при напряжениях ниже допускаемых.

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

Вследствие указанных выше причин присутствие брака в работе осматривщиков и определенной живучести конструкции вполне реальна ситуация, когда вагон какое-то время находится в так называемом скрытом (для всех) аварийном состоянии, но используется в перевозочном процессе как исправный.

Пребывание вагона в скрытом аварийном состоянии может завершиться постановкой его в плановый ремонт, обнаружением опасного повреждения узла вагона с последующей отцепкой вагона в текущий ремонт или переходом вагона в очевидное для всех состояние полной потери работоспособности с соответствующими последствиями той или иной тяжести.

Как правило, при разработке модели эксплуатационной безопасности вагона выделяется три основных этапа получения показателя риска аварии.

*Первый этап* – получение данных о наработках грузовых вагонов в скрытом аварийном состоянии в условиях нормальной их эксплуатации на сети железных дорог.

*Второй этап* – обоснование типа порождающего закона распределения вероятностей, то есть функции, с помощью которой следует аппроксимировать полученные наработки вагонов соответствующему закону распределения.

*Третий этап* – получение точечных оценок параметров функции распределения.

В диссертационной работе рассмотрена модель живучести боковой рамы грузового вагона, эксплуатирующейся с наличием критического дефекта, а именно трещины (или литейного дефекта), ставшей причиной ее излома в

организованном поезде. В соответствии с ГОСТ 15467-86 [40] под критическим дефектом понимается дефект, при наличии которого использование продукции по назначению практически невозможно или недопустимо.

Напомним, что живучесть – свойство объекта сохранять (а иногда и частично восстанавливать) способность к выполнению наиболее существенных функций, возможно, с понижением качества при ненормируемых неблагоприятных нагрузках. Это свойство нередко реализуется после отказа некоторых элементов конструкции. Размерность живучести – время, в течение которого конструкция (объект) после ее отказа или после начала действия ненормируемых нагрузок продолжает выполнять свои функции, полностью не разрушаясь. Для рассматриваемой модели, согласно ГОСТ 27.002-89 [41], план наблюдений за объектами соответствует плану испытаний на надежность [NUN] согласно которому одновременно испытывают  $N$  объектов, отказавшие во время испытания объекты не восстанавливают и не заменяют, испытания прекращают, когда число отказавших объектов достигнет  $r$  ( $N = r$ ).

В процессе формирования массива эмпирических данных учитывались только те случаи изломов боковых рам, которые произошли из-за наличия дефекта, заложенного при изготовлении, то есть по вине завода-изготовителя. Исчисления наработки и фактического срока службы дефектной боковой рамы до момента разрушения производились с момента начала эксплуатации вагона и регистрировались только те случаи, когда были достоверно известны рассматриваемые случайные величины. В результате были проанализированы все случаи изломов боковых рам, произошедшие с 2006 по 2013 гг. включительно. Массив данных представлен в таблице 4.1.

Массив эмпирических данных по фактическому сроку службы и наработке боковых рам с наличием критического дефекта до момента разрушения

| №   | Завод-изготовитель боковой рамы     | Дата начала эксплуатации вагона | Дата излома боковой рамы | Наработка на момент излома (км.) | Срок службы на момент излома (г.) |
|-----|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1.  | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 2005 г.                         | 03.08.2006 г.            | 182 578                          | 1,5                               |
| 2.  | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 2004 г.                         | 11.02.2007 г.            | 250 485                          | 3,1                               |
| 3.  | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 03.08.2005 г.                   | 15.02.2007 г.            | 221 111                          | 1,5                               |
| 4.  | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 12.08.2005 г.                   | 16.02.2007 г.            | 216 442                          | 1,5                               |
| 5.  | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 07.11.2005 г.                   | 25.02.2007 г.            | 211 465                          | 1,25                              |
| 6.  | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 23.09.2005 г.                   | 20.01.2008 г.            | 266 281                          | 2,3                               |
| 7.  | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 30.01.2007 г.                   | 06.02.2008 г.            | 131 184                          | 1                                 |
| 8.  | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 19.04.2006 г.                   | 13.02.2008 г.            | 251 523                          | 1,9                               |
| 9.  | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 27.11.2006 г.                   | 14.02.2008 г.            | 141 136                          | 1,25                              |
| 10. | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 22.11.2005 г.                   | 04.03.2008 г.            | 293 611                          | 2,25                              |
| 11. | Мариупольский завод стального литья | 24.03.2007 г.                   | 05.04.2008 г.            | 119 269                          | 1                                 |
| 12. | Мариупольский завод стального литья | 27.12.2006 г.                   | 02.01.2009 г.            | 98 489                           | 2                                 |
| 13. | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 30.01.2007 г.                   | 15.01.2009 г.            | 243 587                          | 2                                 |
| 14. | АЗОВМАШ                             | 27.12.2006 г.                   | 02.02.2009 г.            | 108 482                          | 2,1                               |
| 15. | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 15.02.2007 г.                   | 13.03.2009 г.            | 199 263                          | 2,1                               |
| 16. | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 24.01.2007 г.                   | 18.03.2009 г.            | 248 528                          | 2,2                               |
| 17. | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 14.09.2007 г.                   | 03.09.2009 г.            | 152 626                          | 2                                 |
| 18. | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 15.02.2007 г.                   | 17.12.2009 г.            | 302 637                          | 2,9                               |
| 19. | ПРОМТРАКТОР-ПРОМЛИТ                 | 11.04.2008 г.                   | 05.02.2010 г.            | 139 361                          | 1,8                               |
| 20. | ПРОМТРАКТОР-ПРОМЛИТ                 | 17.06.2008 г.                   | 23.02.2010 г.            | 127 405                          | 1,7                               |
| 21. | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 31.01.2007 г.                   | 03.03.2010 г.            | 234 894                          | 3,1                               |
| 22. | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 20.02.2007 г.                   | 06.03.2010 г.            | 284 698                          | 3                                 |
| 23. | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 12.03.2007 г.                   | 09.03.2010 г.            | 352 654                          | 3                                 |
| 24. | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 05.03.2007 г.                   | 20.03.2010 г.            | 327 158                          | 3                                 |
| 25. | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 23.01.2007 г.                   | 20.03.2010 г.            | 290 304                          | 3,2                               |
| 26. | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 20.09.2006 г.                   | 11.04.2010 г.            | 359 397                          | 3,6                               |
| 27. | УРАЛВАГОНЗАВОД                      | 11.01.2007 г.                   | 09.07.2010 г.            | 438 317                          | 3,5                               |

## Продолжение таблицы 4.1

| №   | Завод-изготовитель боковой рамы   | Дата начала эксплуатации вагона | Дата излома боковой рамы | Наработка на момент излома (км.) | Срок службы на момент излома (г.) |
|-----|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 28. | УРАЛВАГОНЗАВОД                    | 01.01.2007 г.                   | 21.07.2010 г.            | 210 062                          | 3,5                               |
| 29. | УРАЛВАГОНЗАВОД                    | 02.03.2007 г.                   | 08.11.2010 г.            | 440 936                          | 3,7                               |
| 30. | Кременчугский сталелитейный завод | 10.12.2006 г.                   | 09.12.2010 г.            | 254 705                          | 4                                 |
| 31. | ПРОМТРАКТОР-ПРОМЛИТ               | 28.08.2008 г.                   | 16.01.2011 г.            | 164 744                          | 2,39                              |
| 32. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                  | 11.11.2009 г.                   | 26.01.2011 г.            | ----                             | 1,21                              |
| 33. | АЛТАЙВАГОНЗАВОД                   | 16.04.2010 г.                   | 30.01.2011 г.            | ----                             | 0,79                              |
| 34. | УРАЛВАГОНЗАВОД                    | 10.02.2007 г.                   | 05.02.2011 г.            | 377 399                          | 3,99                              |
| 35. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                  | 10.02.2010 г.                   | 14.02.2011 г.            | ----                             | 1,01                              |
| 36. | АЛТАЙВАГОНЗАВОД                   | 06.05.2010 г.                   | 17.02.2011 г.            | ----                             | 0,77                              |
| 37. | УРАЛВАГОНЗАВОД                    | 10.10.2007 г.                   | 22.02.2011 г.            | 302 777                          | 3,37                              |
| 38. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                  | 17.11.2009 г.                   | 22.02.2011 г.            | ----                             | 1,27                              |
| 39. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                  | 05.05.2010 г.                   | 23.02.2011 г.            | ----                             | 0,81                              |
| 40. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                  | 12.02.2010 г.                   | 26.02.2011 г.            | ----                             | 1,04                              |
| 41. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                  | 05.06.2009 г.                   | 27.02.2011 г.            | ----                             | 1,73                              |
| 42. | АЛТАЙВАГОНЗАВОД                   | 30.04.2010 г.                   | 08.03.2011 г.            | 35 970                           | 0,85                              |
| 43. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                  | 05.10.2009 г.                   | 11.03.2011 г.            | ----                             | 1,43                              |
| 44. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                  | 04.01.2010 г.                   | 21.03.2011 г.            | ----                             | 1,21                              |
| 45. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                  | 11.02.2010 г.                   | 29.03.2011 г.            | ----                             | 1,13                              |
| 46. | АЛТАЙВАГОНЗАВОД                   | 07.06.2010 г.                   | 24.04.2011 г.            | ----                             | 0,88                              |
| 47. | Кременчугский сталелитейный завод | 07.12.2007 г.                   | 08.05.2011 г.            | 247 381                          | 3,40                              |
| 48. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                  | 11.08.2009 г.                   | 23.05.2011 г.            | 70 363                           | 1,78                              |
| 49. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                  | 16.03.2010 г.                   | 05.06.2011 г.            | ----                             | 1,22                              |
| 50. | Кременчугский сталелитейный завод | 01.02.2010 г.                   | 09.07.2011 г.            | ----                             | 1,43                              |
| 51. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                  | 20.02.2009 г.                   | 29.11.2011 г.            | 133 888                          | 2,77                              |
| 52. | ПРОМТРАКТОР-ПРОМЛИТ               | 26.12.2007 г.                   | 30.12.2011 г.            | 257 761                          | 4,01                              |
| 53. | УРАЛВАГОНЗАВОД                    | 31.01.2007 г.                   | 31.12.2011 г.            | 401 920                          | 4,92                              |
| 54. | УРАЛВАГОНЗАВОД                    | 19.05.2005 г.                   | 04.01.2012 г.            | 322 303                          | 6,87                              |
| 55. | Кременчугский сталелитейный завод | 28.07.2010 г.                   | 21.01.2012 г.            | ----                             | 1,48                              |

Продолжение таблицы 4.1

| №   | Завод-изготовитель<br>боковой рамы   | Дата начала<br>эксплуатации<br>вагона | Дата излома<br>боковой<br>рамы | Наработка<br>на момент<br>излома (км.) | Срок службы на<br>момент излома<br>(г.) |
|-----|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 56. | Кременчугский<br>сталелитейный завод | 28.07.2010 г.                         | 23.01.2012 г.                  | ----                                   | 1,48                                    |
| 57. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                     | 16.03.2010 г.                         | 26.01.2012 г.                  | ----                                   | 1,87                                    |
| 58. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                     | 23.03.2011 г.                         | 30.01.2012 г.                  | ----                                   | 0,93                                    |
| 59. | УРАЛВАГОНЗАВОД                       | 19.12.2005 г.                         | 31.01.2012 г.                  | 509 289                                | 6,12                                    |
| 60. | ПРОМТРАКТОР-<br>ПРОМЛИТ              | 26.04.2008 г.                         | 13.02.2012 г.                  | 460 000                                | 3,80                                    |
| 61. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                     | 07.08.2009 г.                         | 05.03.2012 г.                  | 132 772                                | 2,58                                    |
| 62. | Кременчугский<br>сталелитейный завод | 05.05.2010 г.                         | 11.03.2012 г.                  | ----                                   | 1,85                                    |
| 63. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                     | 05.05.2010 г.                         | 20.03.2012 г.                  | ----                                   | 1,88                                    |
| 64. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                     | 21.04.2011 г.                         | 03.04.2012 г.                  | ----                                   | 0,95                                    |
| 65. | Бежицкий<br>сталелитейный завод      | 03.08.2009 г.                         | 26.04.2012 г.                  | ----                                   | 2,73                                    |
| 66. | Кременчугский<br>сталелитейный завод | 17.12.2007 г.                         | 03.05.2012 г.                  | ----                                   | 4,38                                    |
| 67. | ПРОМТРАКТОР-<br>ПРОМЛИТ              | 10.12.2007 г.                         | 04.05.2012 г.                  | 256 146                                | 4,40                                    |
| 68. | АЛТАЙВАГОНЗАВОД                      | 29.11.2009 г.                         | 10.05.2012 г.                  | ----                                   | 1,45                                    |
| 69. | ПРОМТРАКТОР-<br>ПРОМЛИТ              | 12.05.2008 г.                         | 16.08.2012 г.                  | 233 220                                | 4,27                                    |
| 70. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                     | 28.08.2008 г.                         | 06.10.2012 г.                  | 294 353                                | 4,14                                    |
| 71. | АЛТАЙВАГОНЗАВОД                      | 05.03.2010 г.                         | 14.10.2012 г.                  | ----                                   | 2,61                                    |
| 72. | АЛТАЙВАГОНЗАВОД                      | 09.07.2010 г.                         | 10.12.2012 г.                  | ----                                   | 2,42                                    |
| 73. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                     | 01.04.2011 г.                         | 15.12.2012 г.                  | ----                                   | 1,71                                    |
| 74. | АЛТАЙВАГОНЗАВОД                      | 04.02.2011 г.                         | 03.01.2013 г.                  | ----                                   | 1,9                                     |
| 75. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                     | 24.12.2007 г.                         | 08.01.2013 г.                  | 276 186                                | 5                                       |
| 76. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                     | 11.03.2011 г.                         | 09.01.2013 г.                  | ----                                   | 1,84                                    |
| 77. | ПРОМТРАКТОР-<br>ПРОМЛИТ              | 20.07.2008 г.                         | 10.01.2013 г.                  | 246 785                                | 4,6                                     |
| 78. | УРАЛВАГОНЗАВОД                       | 31.01.2007 г.                         | 10.01.2013 г.                  | 584614                                 | 6                                       |
| 79. | Кременчугский<br>сталелитейный завод | 06.04.2011 г.                         | 19.01.2013 г.                  | ----                                   | 1,75                                    |
| 80. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                     | 16.11.2008 г.                         | 08.02.2013 г.                  | 294 991                                | 4,25                                    |
| 81. | АЛТАЙВАГОНЗАВОД                      | 28.06.2010 г.                         | 08.02.2013 г.                  | ----                                   | 2,67                                    |
| 82. | Кременчугский<br>сталелитейный завод | 25.11.2011 г.                         | 10.02.2013 г.                  | ----                                   | 1,25                                    |

| №   | Завод-изготовитель боковой рамы   | Дата начала эксплуатации вагона | Дата излома боковой рамы | Наработка на момент излома (км.) | Срок службы на момент излома (г.) |
|-----|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 83. | АЛТАЙВАГОНЗАВОД                   | 15.03.2010 г.                   | 17.02.2013 г.            | ----                             | 2,92                              |
| 84. | УРАЛВАГОНЗАВОД                    | 20.07.2008 г.                   | 19.02.2013 г.            | 242 485                          | 4,7                               |
| 85. | Кременчугский сталелитейный завод | 14.01.2011 г.                   | 01.03.2013 г.            | ----                             | 2,16                              |
| 86. | АЛТАЙВАГОНЗАВОД                   | 01.07.2010 г.                   | 02.03.2013 г.            | ----                             | 2,66                              |
| 87. | Кременчугский сталелитейный завод | 25.02.2011 г.                   | 02.03.2013 г.            | ----                             | 2,08                              |
| 88. | Кременчугский сталелитейный завод | 24.01.2011 г.                   | 16.03.2013 г.            | ----                             | 2,16                              |
| 89. | Кременчугский сталелитейный завод | 17.05.2010 г.                   | 16.03.2013 г.            | ----                             | 2,83                              |
| 90. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                  | 13.05.2010 г.                   | 23.03.2013 г.            | 213 777                          | 2,83                              |
| 91. | Кременчугский сталелитейный завод | 19.07.2010 г.                   | 03.04.2013 г.            | ----                             | 2,75                              |
| 92. | АЛТАЙВАГОНЗАВОД                   | 20.07.2010 г.                   | 06.04.2013 г.            | 248 632                          | 2,75                              |
| 93. | Кременчугский сталелитейный завод | 04.02.2011 г.                   | 06.04.2013 г.            | ----                             | 2,16                              |
| 94. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                  | 02.10.2008 г.                   | 15.04.2013 г.            | 283 092                          | 4,5                               |
| 95. | АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ                  | 20.20.2010 г.                   | 27.04.2013 г.            |                                  | 2,35                              |
| 96. | ПРОМТРАКТОР-ПРОМЛИТ               | 19.05.2008 г.                   | 28.04.2013 г.            | 419 163                          | 4,95                              |

Проведено выравнивание эмпирических частот закону гамма-распределения, функция плотности  $\varphi(t)$  которого при  $t = 2\lambda x$  имеет вид:

$$\varphi(t) = \frac{1}{2^\eta (\eta - 1)!} t^{\eta-1} e^{-\frac{t}{2}}. \quad (4.12)$$

где  $\eta$  – параметр распределения.

Порядок выравнивания [42], а также значения теоретических и эмпирических частот представлены в таблицах 4.2 и 4.3, в которых использованы следующие обозначения:  $x_i$  – середина интервала (наработки и фактический срок службы на момент излома),  $m_i$  – теоретическая частота,  $m'_i$  – эмпирическая частота,  $\lambda$  – параметр распределения. Гистограммы

распределения фактического срока службы и наработок боковых рам на момент излома показаны на рисунках 4.6 и 4.7. Основные числовые характеристики эмпирического гамма-распределения представлены в таблице 4.4.

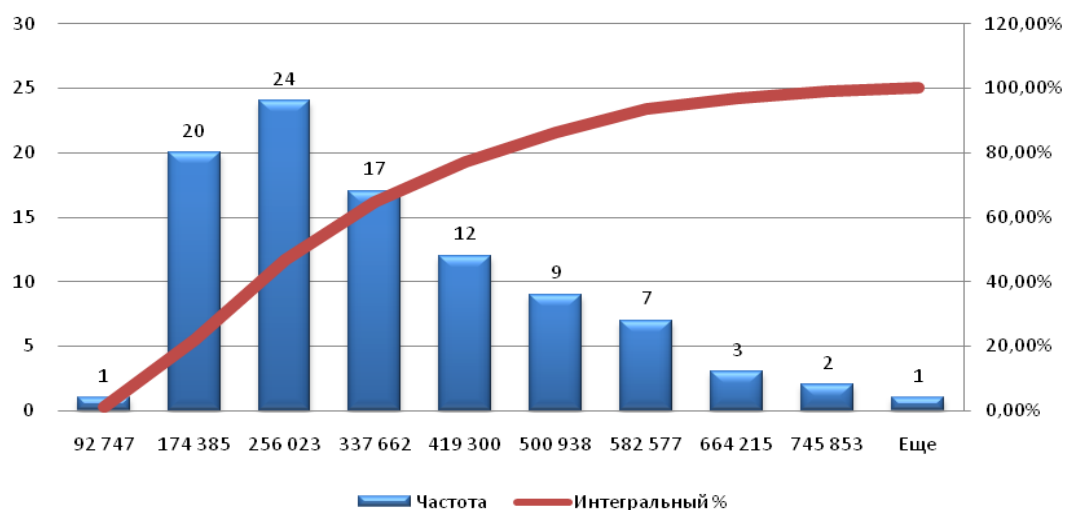


Рисунок 4.6 – Гистограмма распределения живучести боковых рам с критическим дефектом по критерию наработки (км)

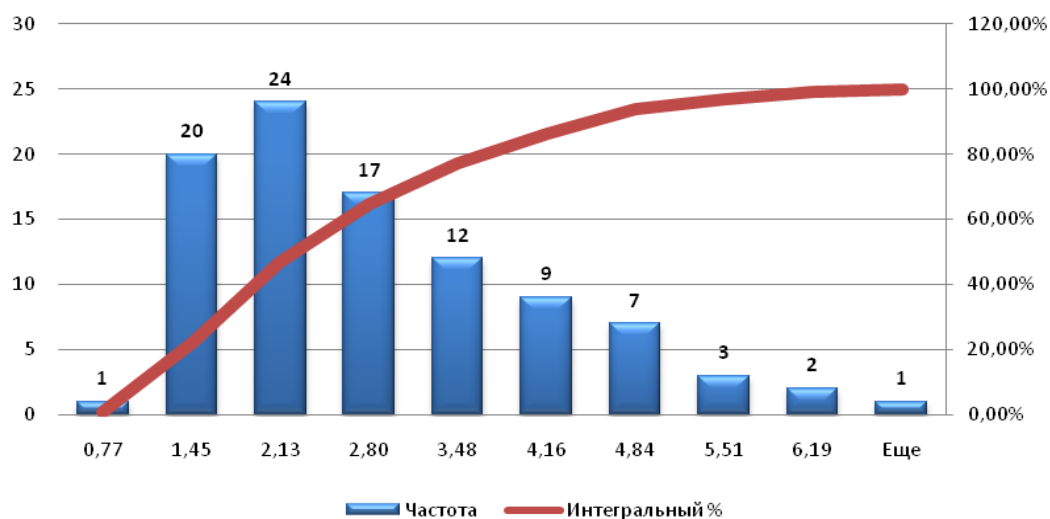


Рисунок 4.7 – Гистограмма распределения живучести боковых рам с критическим дефектом по критерию срока службы (лет)

Таблица 4.2

Выравнивание эмпирических данных – наработок боковых рам с критическим дефектом до момента разрушения по закону гамма-распределения

| Номер интервала | $x_i$<br>тыс. км. | $m_i$ | $t_i = 2\lambda x_i$ | $\varphi(t)$ | $f(x) = \varphi(t_i)2\lambda$ | $m'_i$  | $\frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i}$ |
|-----------------|-------------------|-------|----------------------|--------------|-------------------------------|---------|-------------------------------|
| 1               | 97,747            | 1     | 2,75104              | 0,0091       | 0,000256115                   | 1,8843  | 0,415                         |
| 2               | 174,385           | 20    | 4,90797              | 0,071        | 0,001998257                   | 14,7017 | 1,90946                       |
| 3               | 256,023           | 24    | 7,20563              | 0,122        | 0,003433624                   | 25,262  | 0,06305                       |
| 4               | 337,662           | 17    | 9,50332              | 0,0892       | 0,002510486                   | 18,4703 | 0,11704                       |
| 5               | 419,300           | 12    | 11,801               | 0,064        | 0,001801246                   | 13,2522 | 0,11832                       |
| 6               | 500,938           | 9     | 14,0986              | 0,0425       | 0,00119614                    | 8,8003  | 0,00453                       |
| 7               | 582,577           | 7     | 16,3963              | 0,0372       | 0,001046974                   | 7,70285 | 0,06413                       |
| 8               | 664,215           | 3     | 18,694               | 0,02         | 0,000562889                   | 4,14132 | 0,31454                       |
| 9               | 745,853           | 2     | 20,9916              | 0,0062       | 0,000174496                   | 1,28381 | 0,39954                       |
| 10              | 827,491           | 1     | 23,2893              | 0,0015       | 0,0000                        | 0,3106  | 1,53019                       |
| $\Sigma$        | ---               | 96    | ---                  | ---          | 0,013022443                   | 95,8093 | 4,9358                        |

Таблица 4.3

Выравнивание эмпирических данных – сроков службы боковых рам с критическим дефектом до момента разрушения по закону гамма-распределения

| Номер интервала | $x_i$ | $m_i$ | $t_i = 2\lambda x_i$ | $\varphi(t)$ | $f(x) = \varphi(t_i)2\lambda$ | $m'_i$  | $\frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i}$ |
|-----------------|-------|-------|----------------------|--------------|-------------------------------|---------|-------------------------------|
| 1               | 0,77  | 1     | 2,6125               | 0,0091       | 0,030874945                   | 2,01552 | 0,51167                       |
| 2               | 1,45  | 20    | 4,91963              | 0,071        | 0,240892431                   | 15,7255 | 1,16192                       |
| 3               | 2,13  | 24    | 7,22677              | 0,112        | 0,379999328                   | 24,8064 | 0,02621                       |
| 4               | 2,80  | 17    | 9,49998              | 0,0892       | 0,302642322                   | 19,7565 | 0,38459                       |
| 5               | 3,48  | 12    | 11,8071              | 0,064        | 0,217142473                   | 14,1751 | 0,33375                       |
| 6               | 4,16  | 9     | 14,1143              | 0,0425       | 0,144196173                   | 9,41313 | 0,01813                       |
| 7               | 4,84  | 7     | 16,4214              | 0,0372       | 0,126214062                   | 8,23925 | 0,18639                       |
| 8               | 5,51  | 3     | 18,6946              | 0,02         | 0,067857023                   | 4,42971 | 0,46144                       |
| 9               | 6,19  | 2     | 21,0017              | 0,0092       | 0,03121423                    | 2,03766 | 0,0007                        |
| 10              | 6,87  | 1     | 23,3089              | 0,0025       | 0,0085                        | 0,55371 | 0,3597                        |
| $\Sigma$        | ---   | 96    |                      |              | 1,549515115                   | 101,152 | 3,44451                       |

## Основные характеристики эмпирического гамма-распределения

| Наименование параметров распределения        | Расчетная формула, обозначение параметра                                | Значение параметра |                  |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------|
|                                              |                                                                         | по сроку службы    | по наработке     |
| Плотность вероятности                        | $\varphi(t) = \frac{1}{2^\eta (\eta - 1)!} t^{\eta-1} e^{-\frac{t}{2}}$ | ----               | ----             |
| Минимальное значение случайной величины      | $x_{\min}$                                                              | 1 г.               | 35,970 тыс. км.  |
| Максимальное значение случайной величины     | $x_{\max}$                                                              | 6 г.               | 584,614 тыс. км. |
| Размах вариации                              | $R$                                                                     | 5 г.               | 548 644 тыс. км. |
| Медиана наблюдений                           | $x_m$                                                                   | 2,28 г.            | 246 057 тыс. км. |
| Параметры распределения                      | $\lambda = \frac{\bar{x}}{D(x)}$                                        | 1,70               | 0,014            |
|                                              | $\eta = \lambda \bar{x}$                                                | 4,90               | 4,90             |
| Математическое ожидание (выборочное среднее) | $\bar{x} \approx M(X) = \sum X_i W_i$                                   | 2,89 г.            | 348,000 тыс. км. |
| Среднее квадратичное отклонение              | $\sigma(X) = \sqrt{D(X)}$                                               | 1,3 г.             | 109,447 тыс. км. |
| Значение $\chi^2$                            | $\chi^2 = n \sum_{i=1}^l \frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i}$                   | 1,95               | 0,177            |
| Вероятность согласия по критерию Пирсона     | $P(\chi^2)$                                                             | 0,7358             | 0,6065           |

Таким образом, в результате проведенного исследования получен закон распределения риска транспортного происшествия для случаев, когда вагон эксплуатируется с боковой рамой, у которой имеется критический дефект. Случайные величины – фактический срок службы и наработка боковой рамы до излома – подчиняются закону гамма-распределения.

#### 4.4 Практическая реализация методики определения протяженности гарантийного участка на основе оценки параметра безопасности грузовых вагонов

Исходные данные и расчетные значения длины гарантийного участка относительно параметров  $P$  и  $l_{\text{бд}}$  представлены в таблицах 4.5 и 4.6.

Таблица 4.5

Исходные данные для расчета протяженности гарантийного участка относительно параметров  $P$  и  $l_{\text{бд}}$

| Наименование показателя                                                    | Обозначение показателя | Значение             |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------|
| Периодичность глубокой диагностики                                         | $l_{\text{бд}}$        | 348000 км            |
| Вероятность крушения поезда по вине ВХ                                     | $R$                    | $10^{-5}$            |
| Себестоимость технического обслуживания приведенного вагона на ПТО         | $c$                    | 67,2 руб.            |
| Средний ущерб от крушения (схода вагона) поезда                            | $\Pi$                  | $36 \cdot 10^6$ руб. |
| Средняя величина потерь от пребывания вагона в скрытом аварийном состоянии | $V$                    | 1,5 руб./1000 км     |
| Вероятность обнаружения отказа осмотрщиком вагонов                         | $P$                    | (0,05...0,7)         |

Данные таблицы 4.6 показывают, что, исходя из условий обеспечения безопасной эксплуатации грузового вагона, максимальную длину гарантийного участка можно установить в пределах 2351 км [43]. Однако стоит заметить, что полученные длины гарантийных участков возможно установить только при условии, если штат осмотрщиков обладает очень высокой квалификацией и обеспечен соответствующим инструментом и приспособлениями для выявления и устранения неисправностей (что соответствует вероятности  $P = 0,7$ )).

Результаты расчета длины гарантийного участка относительно параметров  $P$  и  $l_{60}$

| $P$  | Параметры уравнения $an^2 + bn + k = 0$ |                 |                       | $V$ | $l_{60}$ | $n$ | $l_{гв}$ |
|------|-----------------------------------------|-----------------|-----------------------|-----|----------|-----|----------|
|      | $a = cP^2$                              | $b = cP(2 - P)$ | $k = 2(c - PVl_{60})$ |     |          |     |          |
| 0,05 | 0,168                                   | 6,552           | -52065,6              | 1,5 | 348000   | 538 | 647      |
| 0,1  | 0,672                                   | 12,768          | -104266               | 1,5 | 348000   | 385 | 905      |
| 0,15 | 1,512                                   | 18,648          | -156466               | 1,5 | 348000   | 316 | 1103     |
| 0,2  | 2,688                                   | 24,192          | -208666               | 1,5 | 348000   | 274 | 1269     |
| 0,25 | 4,2                                     | 29,4            | -260866               | 1,5 | 348000   | 246 | 1416     |
| 0,3  | 6,048                                   | 34,272          | -313066               | 1,5 | 348000   | 225 | 1549     |
| 0,35 | 8,232                                   | 38,808          | -365266               | 1,5 | 348000   | 208 | 1671     |
| 0,4  | 10,752                                  | 43,008          | -417466               | 1,5 | 348000   | 195 | 1784     |
| 0,45 | 13,608                                  | 46,872          | -469666               | 1,5 | 348000   | 184 | 1891     |
| 0,5  | 16,8                                    | 50,4            | -521866               | 1,5 | 348000   | 175 | 1991     |
| 0,55 | 20,328                                  | 53,592          | -574066               | 1,5 | 348000   | 167 | 2087     |
| 0,6  | 24,192                                  | 56,448          | -626266               | 1,5 | 348000   | 160 | 2179     |
| 0,65 | 28,392                                  | 58,968          | -678466               | 1,5 | 348000   | 154 | 2266     |
| 0,7  | 32,928                                  | 61,152          | -730666               | 1,5 | 348000   | 148 | 2351     |



Рисунок 4.8 – Зависимость протяженности гарантийного участка безостановочного следования грузовых поездов от качества технического обслуживания

Как известно, брак в работе осмотрщика может иметь и имеет порой весьма серьезные последствия. В то же время эта категория работников в

основном полагается на так называемые органолептические методы обнаружения опасных повреждений. Причем на контроль технического состояния вагона даже в сложных погодных условиях выделено в среднем 40–60 сек. Для успешной работы осмотрщик должен не только хорошо знать и понимать особенности работы основных агрегатов вагона и поезда в целом, но и обладать хорошим зрением, обонянием, слухом и осязанием, а также определенными чертами характера и психофизиологическими свойствами, например наблюдательностью, дисциплинированностью, способностью и волей принимать ответственные решения и т. п. Это тот набор качеств, которыми в совокупности обладает незначительный процент работников.

Для привлечения на конкурсной основе в штат осмотрщиков, отвечающих указанным требованиям, транспортная наука должна узнать, по крайней мере, необременительные для экономики транспорта источники финансирования резкого повышения их заработной платы.

Транспортная наука в полной мере сможет реализовать упомянутый выше перечень задач, если она, во-первых, будет располагать данными о реальном уровне качества работы осмотрщика ( $P$ ) и, во-вторых, будет иметь возможность определять оптимальные значения протяженности гарантийных участков ПТО относительно экстремума целевой функции (4.6).

Для этого следует разработать и внедрить общесетевую автоматизированную систему своевременного обнаружения опасных повреждений вагонов, находящихся в эксплуатации.

По данным этой системы можно будет не только обеспечить гласный контроль качества работы буквально каждого осмотрщика вагонов, но и тем самым повысить эффективность работы ревизорского аппарата дороги, а с помощью специальной методики идентифицировать функцию  $F(x)$  распределения наработки того или иного узла или агрегата вагона до появления опасного отказа.

**Выводы по четвертой главе**

1. Изложены теоретические аспекты, определяющие эксплуатационную безопасность грузового вагона.
2. Проанализированы данные по изломам боковых рам тележек грузовых вагонов в период с 2006 по 2013 гг., в результате получен массив данных по живучести боковых рам с критическим дефектом как по наработке, так и по сроку службы.
3. В результате аппроксимации эмпирических данных установлено, что случайные величины – наработка и фактический срок службы боковых рам с критическим дефектом – подчиняются закону гамма-распределения. Определены соответственно значения числовых характеристик параметров распределения.
4. Практически реализован расчет оптимальной длины гарантийного участка безостановочного следования грузовых поездов относительно параметра безопасности вагона и вероятности качества технического обслуживания поезда на ПТО в условиях реально достигнутого уровня безопасности движения на сети дорог России.

## **5 Оценка влияния уровня безотказности грузовых вагонов на их нормативный срок службы и параметры системы ремонта**

### **5.1 Статистическая оценка вероятностей безотказной работы грузовых вагонов в межремонтных периодах**

При выполнении перевозок вагоны должны надежно работать в заданном режиме эксплуатации в течение установленного времени. В процессе эксплуатации вагоны расходуют свой технический ресурс, поэтому его необходимо восстанавливать. Накопление неисправностей в ходовых частях, буксах, тормозах и других узлах вагонов, а следовательно, и число отказов вагонов, возникающих в процессе движения, зависит в основном от надежности конструкции и величины пробега вагонов.

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 под надежностью понимается свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Надежность объекта – сложное свойство, состоящее в общем случае из безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Количественно надежность объекта оценивают с помощью показателей, которые выбирают и определяют с учетом особенностей объекта, режимов и условий его эксплуатации и последствий отказов.

Согласно ГОСТ 27.002-89 под отказом понимается событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Под отказом грузового вагона автор понимает событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния, вследствие которого грузовой вагон поступает во внеплановый ремонт.

Рассмотрим один из основных компонентов надежности – безотказность. Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение заданного времени или наработки. Существенное рассеяние основных параметров надежности предопределяет необходимость рассматривать ее в вероятностном аспекте. Вероятностный аспект отражается в различных показателях надежности.

В рамках гостированных планов, как правило, предполагается, что объектами наблюдения (испытаний) являются однотипные изделия, не имеющие конструктивных различий и одновременно поставленные под наблюдение.

В диссертационной работе массив экспериментальных данных формировался на основе данных информационной системы АБД ПВ. Автоматизированный банк данных парка вагонов (АБД ПВ) представляет собой совокупность данных о грузовых вагонах инвентарного парка железнодорожных администраций, вагонов собственности предприятий и организаций государств Содружества, Латвии, Литвы и Эстонии, имеющих восьмизначную нумерацию. В АБД ПВ отражается информация о собственнике вагона, его приписке, технических характеристиках в объеме технического паспорта на вагон формы ВУ-4М, о прохождении плановых и неплановых видов ремонта и модернизаций, признаках, характеризующих качество номера вагона, его техническое состояние. В таблице 5.1 представлена структура парка грузовых вагонов по возрастному составу.

## Массив данных о возрастном составе грузовых вагонов

| Год изготовления | Крытые вагоны | Платформы | Полувагоны | Цистерны |         |
|------------------|---------------|-----------|------------|----------|---------|
|                  |               |           |            | 4-осные  | 8-осные |
| 1967             | 608           | 1269      | 153        | 608      | 8       |
| 1968             | 250           | 572       | 22         | 1697     | 0       |
| 1969             | 433           | 509       | 39         | 2193     | 4       |
| 1970             | 699           | 906       | 59         | 3059     | 7       |
| 1971             | 832           | 1189      | 60         | 3562     | 9       |
| 1972             | 1073          | 1385      | 96         | 3906     | 14      |
| 1973             | 1371          | 1470      | 122        | 3645     | 22      |
| 1974             | 5911          | 4721      | 196        | 3639     | 118     |
| 1975             | 7264          | 4936      | 458        | 3592     | 301     |
| 1976             | 6413          | 5563      | 1847       | 3917     | 314     |
| 1977             | 5907          | 5865      | 8877       | 3570     | 310     |
| 1978             | 5849          | 5484      | 12629      | 3637     | 298     |
| 1979             | 5508          | 3880      | 14467      | 3261     | 361     |
| 1980             | 5666          | 3414      | 15815      | 3039     | 494     |
| 1981             | 4403          | 3099      | 15465      | 2821     | 482     |
| 1982             | 3760          | 3102      | 15029      | 2445     | 414     |
| 1983             | 3471          | 2993      | 14892      | 2213     | 426     |
| 1984             | 3016          | 3102      | 14781      | 2741     | 482     |
| 1985             | 3300          | 3296      | 15406      | 3068     | 622     |
| 1986             | 3417          | 3713      | 15785      | 3170     | 714     |
| 1987             | 4059          | 3660      | 17040      | 2671     | 789     |
| 1988             | 2386          | 3293      | 16053      | 1924     | 572     |
| 1989             | 2042          | 3107      | 14762      | 2187     | 688     |
| 1990             | 1574          | 2847      | 14892      | 1916     | 716     |
| 1991             | 2783          | 2112      | 15269      | 663      | 278     |
| 1992             | 3910          | 130       | 9547       | 19       | 0       |
| 1993             | 2662          | 46        | 5951       | 103      | 0       |
| 1994             | 2183          | 8         | 3380       | 1535     | 0       |
| 1995             | 487           | 3         | 1864       | 4203     | 0       |
| 1996             | 296           | 0         | 2102       | 3969     | 0       |
| 1997             | 0             | 0         | 881        | 2220     | 0       |
| 1998             | 0             | 0         | 1055       | 855      | 0       |
| 1999             | 0             | 0         | 1107       | 450      | 0       |
| 2000             | 0             | 0         | 559        | 0        | 0       |

В 2009 г. на предприятиях ЦДРВ сети дорог внедрен информационный ресурс «Подсистема качества изготовления и планового ремонта грузовых вагонов в рамках расширения функциональных возможностей единой информационной системы управления вагонным хозяйством», который позволил:

- повысить достоверность оценки качества ремонта и изготовления грузовых вагонов вагоноремонтными, вагоностроительными предприятиями на основе анализа межремонтной эксплуатации ими отремонтированных и изготовленных вагонов;

- улучшить качество выполнения плановых (деповского и капитального) видов ремонтов и постройки грузовых вагонов на вагоноремонтных и вагоностроительных предприятиях;

- увеличить объем рабочего парка вагонов, эксплуатируемых на сети;

- сократить эксплуатационные расходы на содержание грузовых вагонов в эксплуатации за счет снижения количества поступлений вагонов в текущий ремонт;

- организовать единое информационное пространство в области оценки качества ремонта грузовых вагонов, их номерных узлов и деталей для использования в задачах управления в ремонтной и эксплуатационной деятельности вагонного хозяйства ОАО «РЖД» за счет создания автоматизированной системы.

Для оценки качества поставляемой и потребляемой ОАО «РЖД» продукции, с учетом вышеизложенных требований, приняты следующие показатели:

- показатель безотказной работы (К) – численное значение, отражающее долю изделий, не имевших отказов в течение заданной наработки или установленного срока эксплуатации, выраженное в процентах;

- параметр потока отказов – относительная величина, характеризующая в рассматриваемом периоде отношение количества отказов изделий к общему

количеству изделий;

– средняя наработка на отказ ( $T$ ) – величина, характеризующая отношение суммарной наработки изделий к количеству отказов в течение этой наработки, выраженная в километрах.

Характеристика системы ремонта полувагона представлена в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Характеристика полувагона модели 12-132

| Наименование параметра                        | Значение |
|-----------------------------------------------|----------|
| Модель                                        | 12-132   |
| Назначенный срок службы                       | 22       |
| Количество капитальных ремонтов за НСС        | 1        |
| Периодичность проведения капитального ремонта | 11       |
| Первый плановый ремонт с начала эксплуатации  | 3        |
| Периодичность проведения депокских ремонтов   | 2        |
| Количество депокских ремонтов за НСС          | 9        |

Задача «Оценка качества плановых ремонтов и изготовления грузовых вагонов» реализуется с использованием существующих информационных технологий в автоматизированном режиме.

Справочные значения показателей надежности по видам работы с полувагоном: изготовление, депокской ремонт, капитальный ремонт, капитальный ремонт с продлением срока полезного использования, рассчитанные для наработки, выраженной в сутках эксплуатации вагонов по результатам 2010 г. [45], приведены в таблице 5.3.

Расчетные значения вероятностей безотказной работы за жизненный цикл полувагона модели 12-132 с учетом деградации конструкции приведены в таблице 5.4. Вычисления проведены для полувагона модели 12-132.

На рисунках 5.1 и 5.2 приведены графики вероятностей безотказной работы полувагонов по межремонтным периодам (с продлением и без продления срока службы).

Справочные значения показателей надежности полувагонов по данным ЦДРВ за 2010 г.

| Наработка<br>(сут) | Деповской ремонт                     |                       | Капитальный ремонт                   |                       | Капитальный ремонт с<br>продлением срока<br>службы |                       | Новый вагон                          |                       |
|--------------------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|
|                    | Вероятность<br>безотказной<br>работы | Вероятность<br>отказа | Вероятность<br>безотказной<br>работы | Вероятность<br>отказа | Вероятность<br>безотказной<br>работы               | Вероятность<br>отказа | Вероятность<br>безотказной<br>работы | Вероятность<br>отказа |
| 30                 | 0,9905                               | 0,0095                | 0,9920                               | 0,008                 | 0,9896                                             | 0,0104                | 0,9975                               | 0,0025                |
| 60                 | 0,9771                               | 0,0229                | 0,9824                               | 0,0176                | 0,9756                                             | 0,0244                | 0,9929                               | 0,0071                |
| 90                 | 0,9621                               | 0,0379                | 0,9737                               | 0,0263                | 0,9671                                             | 0,0329                | 0,9877                               | 0,0123                |
| 120                | 0,9465                               | 0,0535                | 0,9638                               | 0,0362                | 0,9549                                             | 0,0451                | 0,9814                               | 0,0186                |
| 150                | 0,9303                               | 0,0697                | 0,9538                               | 0,0462                | 0,9413                                             | 0,0587                | 0,9763                               | 0,0237                |
| 180                | 0,9131                               | 0,0869                | 0,9423                               | 0,0577                | 0,9258                                             | 0,0742                | 0,9706                               | 0,0294                |
| 210                | 0,8937                               | 0,1063                | 0,9323                               | 0,0677                | 0,9114                                             | 0,0886                | 0,9652                               | 0,0348                |
| 240                | 0,8732                               | 0,1268                | 0,9210                               | 0,079                 | 0,8984                                             | 0,1016                | 0,9592                               | 0,0408                |
| 270                | 0,8530                               | 0,147                 | 0,9094                               | 0,0906                | 0,8822                                             | 0,1178                | 0,9527                               | 0,0473                |
| 300                | 0,8323                               | 0,1677                | 0,8978                               | 0,1022                | 0,8644                                             | 0,1356                | 0,9457                               | 0,0543                |
| 330                | 0,8124                               | 0,1876                | 0,8856                               | 0,1144                | 0,8480                                             | 0,152                 | 0,9359                               | 0,0641                |
| 360                | 0,7934                               | 0,2066                | 0,8728                               | 0,1272                | 0,8223                                             | 0,1777                | 0,9250                               | 0,075                 |
| 390                | 0,7757                               | 0,2243                | 0,8588                               | 0,1412                | 0,8004                                             | 0,1996                | 0,9120                               | 0,088                 |
| 420                | 0,7587                               | 0,2413                | 0,8455                               | 0,1545                | 0,7769                                             | 0,2231                | 0,8995                               | 0,1005                |
| 450                | 0,7428                               | 0,2572                | 0,8315                               | 0,1685                | 0,7552                                             | 0,2448                | 0,8867                               | 0,1133                |
| 480                | 0,7280                               | 0,272                 | 0,8185                               | 0,1815                | 0,7322                                             | 0,2678                | 0,8730                               | 0,127                 |
| 510                | 0,7155                               | 0,2845                | 0,8066                               | 0,1934                | 0,7087                                             | 0,2913                | 0,8603                               | 0,1397                |
| 540                | 0,7055                               | 0,2945                | 0,7965                               | 0,2035                | 0,6855                                             | 0,3145                | 0,8462                               | 0,1538                |
| 570                | 0,6976                               | 0,3024                | 0,7868                               | 0,2132                | 0,6609                                             | 0,3391                | 0,8335                               | 0,1665                |
| 600                | 0,6912                               | 0,3088                | 0,7779                               | 0,2221                | 0,6407                                             | 0,3593                | 0,8205                               | 0,1795                |
| 630                | 0,6856                               | 0,3144                | 0,7699                               | 0,2301                | 0,6196                                             | 0,3804                | 0,8083                               | 0,1917                |
| 660                | 0,6808                               | 0,3192                | 0,7625                               | 0,2375                | 0,5992                                             | 0,4008                | 0,7946                               | 0,2054                |
| 690                | 0,6764                               | 0,3236                | 0,7556                               | 0,2444                | 0,5829                                             | 0,4171                | 0,7828                               | 0,2172                |
| 720                | 0,6726                               | 0,3274                | 0,7500                               | 0,25                  | 0,5708                                             | 0,4292                | 0,7711                               | 0,2289                |
| 750                | 0,6717                               | 0,3283                | 0,7486                               | 0,2514                | 0,5629                                             | 0,4371                | 0,7592                               | 0,2408                |
| 780                |                                      |                       |                                      |                       | 0,5568                                             | 0,4432                | 0,7480                               | 0,252                 |
| 810                |                                      |                       |                                      |                       | 0,5545                                             | 0,4455                | 0,7373                               | 0,2627                |
| 840                |                                      |                       |                                      |                       | 0,5531                                             | 0,4469                | 0,7259                               | 0,2741                |
| 870                |                                      |                       |                                      |                       | 0,5510                                             | 0,449                 | 0,7146                               | 0,2854                |
| 900                |                                      |                       |                                      |                       | 0,5499                                             | 0,4501                | 0,7025                               | 0,2975                |
| 930                |                                      |                       |                                      |                       | 0,5487                                             | 0,4513                | 0,6916                               | 0,3084                |
| 960                |                                      |                       |                                      |                       | 0,5481                                             | 0,4519                | 0,6804                               | 0,3196                |
| 990                |                                      |                       |                                      |                       | 0,5476                                             | 0,4524                | 0,6678                               | 0,3322                |
| 1020               |                                      |                       |                                      |                       | 0,5474                                             | 0,4526                | 0,6565                               | 0,3435                |
| 1050               |                                      |                       |                                      |                       | 0,5462                                             | 0,4538                | 0,6467                               | 0,3533                |
| 1080               |                                      |                       |                                      |                       | 0,5458                                             | 0,4542                | 0,6382                               | 0,3618                |

Расчетные значения вероятностей безотказной работы полувагонов в течение назначенного срока службы

| Время эксплуатации, сут. | Значения вероятностей безотказной работы по межремонтным периодам |                      |                      |                      |                      |                    |                      |                      |                      |                      |                      |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                          | Новый вагон                                                       | Деповской ремонт № 1 | Деповской ремонт № 2 | Деповской ремонт № 3 | Деповской ремонт № 4 | Капитальный ремонт | Деповской ремонт № 5 | Деповской ремонт № 6 | Деповской ремонт № 7 | Деповской ремонт № 8 | Деповской ремонт № 9 |
| 30                       | 0,998                                                             | 0,991                | 0,882                | 0,785                | 0,699                | 0,992              | 0,883                | 0,787                | 0,700                | 0,624                | 0,555                |
| 60                       | 0,993                                                             | 0,977                | 0,870                | 0,775                | 0,690                | 0,982              | 0,875                | 0,779                | 0,694                | 0,618                | 0,550                |
| 90                       | 0,988                                                             | 0,962                | 0,857                | 0,763                | 0,679                | 0,974              | 0,867                | 0,772                | 0,687                | 0,612                | 0,545                |
| 120                      | 0,981                                                             | 0,947                | 0,843                | 0,750                | 0,668                | 0,964              | 0,858                | 0,764                | 0,680                | 0,606                | 0,540                |
| 150                      | 0,976                                                             | 0,930                | 0,828                | 0,738                | 0,657                | 0,954              | 0,849                | 0,756                | 0,673                | 0,600                | 0,534                |
| 180                      | 0,971                                                             | 0,913                | 0,813                | 0,724                | 0,645                | 0,942              | 0,839                | 0,747                | 0,665                | 0,592                | 0,528                |
| 210                      | 0,965                                                             | 0,894                | 0,796                | 0,709                | 0,631                | 0,932              | 0,830                | 0,739                | 0,658                | 0,586                | 0,522                |
| 240                      | 0,959                                                             | 0,873                | 0,778                | 0,692                | 0,617                | 0,921              | 0,820                | 0,730                | 0,650                | 0,579                | 0,516                |
| 270                      | 0,953                                                             | 0,853                | 0,760                | 0,676                | 0,602                | 0,909              | 0,810                | 0,721                | 0,642                | 0,572                | 0,509                |
| 300                      | 0,946                                                             | 0,832                | 0,741                | 0,660                | 0,588                | 0,898              | 0,799                | 0,712                | 0,634                | 0,564                | 0,503                |
| 330                      | 0,936                                                             | 0,812                | 0,723                | 0,644                | 0,574                | 0,886              | 0,789                | 0,702                | 0,625                | 0,557                | 0,496                |
| 360                      | 0,925                                                             | 0,793                | 0,706                | 0,629                | 0,560                | 0,873              | 0,777                | 0,692                | 0,616                | 0,549                | 0,489                |
| 390                      | 0,912                                                             | 0,776                | 0,691                | 0,615                | 0,548                | 0,859              | 0,765                | 0,681                | 0,606                | 0,540                | 0,481                |
| 420                      | 0,900                                                             | 0,759                | 0,676                | 0,602                | 0,536                | 0,846              | 0,753                | 0,670                | 0,597                | 0,532                | 0,473                |
| 450                      | 0,887                                                             | 0,743                | 0,661                | 0,589                | 0,524                | 0,832              | 0,740                | 0,659                | 0,587                | 0,523                | 0,465                |
| 480                      | 0,873                                                             | 0,728                | 0,648                | 0,577                | 0,514                | 0,819              | 0,729                | 0,649                | 0,578                | 0,515                | 0,458                |
| 510                      | 0,860                                                             | 0,716                | 0,637                | 0,567                | 0,505                | 0,807              | 0,718                | 0,640                | 0,569                | 0,507                | 0,452                |
| 540                      | 0,846                                                             | 0,706                | 0,628                | 0,559                | 0,498                | 0,797              | 0,709                | 0,632                | 0,562                | 0,501                | 0,446                |
| 570                      | 0,834                                                             | 0,698                | 0,621                | 0,553                | 0,493                | 0,787              | 0,701                | 0,624                | 0,556                | 0,495                | 0,440                |
| 600                      | 0,821                                                             | 0,691                | 0,615                | 0,548                | 0,488                | 0,778              | 0,693                | 0,617                | 0,549                | 0,489                | 0,435                |
| 630                      | 0,808                                                             | 0,686                | 0,610                | 0,544                | 0,484                | 0,770              | 0,686                | 0,610                | 0,544                | 0,484                | 0,431                |
| 660                      | 0,795                                                             | 0,681                | 0,606                | 0,540                | 0,481                | 0,763              | 0,679                | 0,605                | 0,538                | 0,479                | 0,427                |
| 690                      | 0,783                                                             | 0,676                | 0,602                | 0,536                | 0,478                | 0,756              | 0,673                | 0,599                | 0,533                | 0,475                | 0,423                |
| 720                      | 0,771                                                             | 0,673                | 0,599                | 0,533                | 0,475                | 0,750              | 0,668                | 0,595                | 0,530                | 0,472                | 0,420                |
| 750                      | 0,759                                                             | 0,672                | 0,598                | 0,533                | 0,474                | 0,749              | 0,667                | 0,594                | 0,529                | 0,471                | 0,419                |
| 780                      | 0,748                                                             | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  |
| 810                      | 0,737                                                             | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  |
| 840                      | 0,726                                                             | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  |
| 870                      | 0,715                                                             | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  |
| 900                      | 0,703                                                             | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  |
| 930                      | 0,692                                                             | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  |
| 960                      | 0,680                                                             | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  |
| 990                      | 0,668                                                             | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  |
| 1020                     | 0,657                                                             | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  |
| 1050                     | 0,647                                                             | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  |
| 1080                     | 0,638                                                             | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  | ---                  |
| Среднее значение         | 0,835                                                             | 0,799                | 0,712                | 0,634                | 0,564                | 0,861              | 0,767                | 0,683                | 0,608                | 0,542                | 0,482                |

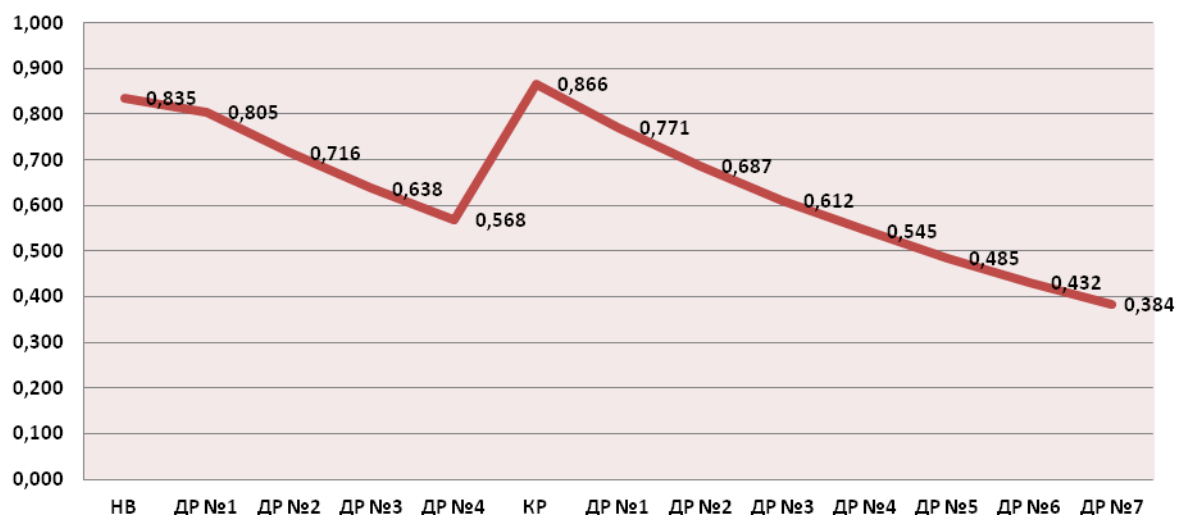


Рисунок 5.1 – Средние значения вероятностей безотказной работы грузового полувагона по межремонтным периодам (без КРП)

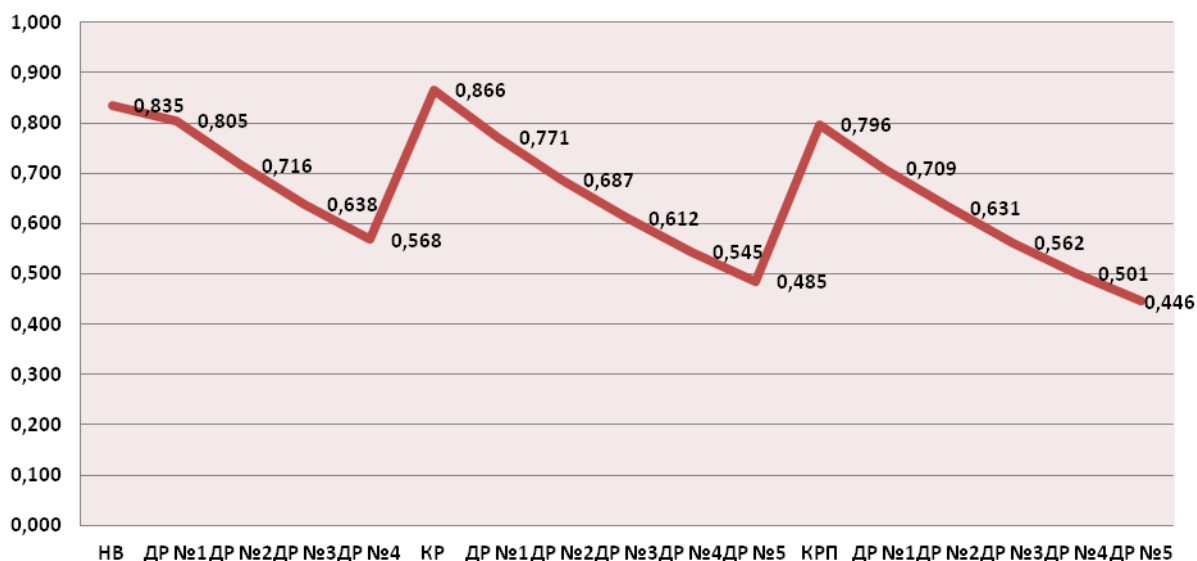


Рисунок 5.2 – Средние значения вероятностей безотказной работы грузового полувагона по межремонтным периодам (с КРП)

Средние значения времени и вероятностей безотказной работы полувагона по межремонтным периодам представлены в таблице 5.5.

Средние значения времени и вероятностей безотказной работы полувагона по межремонтным периодам

| Межремонтный период                                  | Средняя вероятность безотказной работы | Продолжительность межремонтного периода (мес.) | Время безотказной работы (мес.) |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------|
| Новый вагон – первый деповской ремонт                | 0,835                                  | 36                                             | 30,06                           |
| Первый деповской ремонт – второй деповской ремонт    | 0,799                                  | 24                                             | 19,176                          |
| Второй деповской ремонт – третий деповской ремонт    | 0,712                                  | 24                                             | 17,088                          |
| Третий деповской ремонт – четвертый деповской ремонт | 0,634                                  | 24                                             | 15,216                          |
| Четвертый деповской ремонт – капитальный ремонт      | 0,564                                  | 24                                             | 13,536                          |
| Капитальный ремонт – пятый деповской ремонт          | 0,862                                  | 24                                             | 20,688                          |
| Пятый деповской ремонт – шестой деповской ремонт     | 0,767                                  | 24                                             | 18,408                          |
| Шестой деповской ремонт – седьмой деповской ремонт   | 0,683                                  | 24                                             | 16,392                          |
| Седьмой деповской ремонт – восьмой деповской ремонт  | 0,608                                  | 24                                             | 14,592                          |
| Восьмой деповской ремонт – девятый деповской ремонт  | 0,542                                  | 24                                             | 13,008                          |
| Девятый деповской ремонт – списание вагона           | 0,482                                  | 24                                             | 11,568                          |
| Среднее значение                                     | 0,680                                  | ---                                            | 17,25                           |

## **5.2 Оптимизация назначенного срока службы полувагона по критерию безубыточности эксплуатации**

Вагон – сложная система взаимосвязанных деталей, узлов и агрегатов. Долговечность и эффективность его использования во многом зависит от ресурса, заложенного при проектировании и изготовлении вагона. В процессе использования заложенный ресурс постепенно расходуется: с течением времени снижается эффективность работы вагона, увеличиваются износы, коррозионные и усталостные повреждения.

Существует два последовательных периода жизни вагона:

- период нормальной эксплуатации, в течение которого эффективность работы конструкций снижается равномерно с течением времени;
- период старения, когда идет ускоренное падение эффективности.

В период старения интенсивно увеличиваются количество отказов элементов конструкции, продолжительность нахождения в неработоспособном состоянии и простоя в текущих ремонтах; растет риск аварий и крушений. Тем самым техническое состояние вагона быстро приближается к предельному.

Для восстановления ресурса, экономической эффективности и безопасности конструкции в системе эксплуатации грузовых вагонов предусмотрено проведение ремонтов крупного объема (деповских и капитальных). Их периодичность в соответствии с принятой на железнодорожном транспорте стратегией планируется во времени. Поэтому экономическое обоснование сроков (периодичности) проведения ремонтов крупного объема является важной задачей. С помощью оптимизации межремонтных периодов, с одной стороны, стараются избежать завышение расходов, необходимых на содержание техники, а с другой – по возможности не допустить резкого снижения эффективности работы вагона («выработки»),

его безопасности, а также перехода конструкции в предельное состояние, когда ее восстановление становится невозможным или нецелесообразным.

Задача минимизации суммарных затрат на осуществление жизненного цикла техники, наладки схемы ценообразования, а также повышения надежности и безопасности эксплуатируемой техники является общей для ее создателей и потребителей. Решение этой задачи – приносить пользу и тем и другим. Для железнодорожной промышленности минимизация таких затрат повышает конкурентоспособность продукции и, следовательно, стимулирует расширение рынка сбыта и увеличение прибыли. Для пользователей продукции при этом повышается экономическая эффективность ее эксплуатации.

Чтобы создать условия, стимулирующие производителей развивать свою продукцию, необходимо было изменить систему ценообразования, и в качестве основного направления была принята методология оценки стоимости жизненного цикла.

В настоящее время понятие «стоимость жизненного цикла» технического средства определяется как совокупность затрат потребителя на приобретение и использование техники за срок ее службы.

Стоимость жизненного цикла подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта включает в себя затраты единовременного (инвестиции) и текущего характера (срок полезного использования). Кроме того, учитываются ликвидационные расходы, связанные с исключением объекта из эксплуатации.

Стоимость жизненного цикла подвижного состава определяется суммированием индивидуального оттока денежных средств (расходов) на каждом временном этапе (шаге расчета) срока службы техники.

Годовые эксплуатационные расходы – текущие затраты на эксплуатацию подвижного состава и сложных технических систем – рассчитываются в соответствии с номенклатурой доходов и расходов по видам деятельности организации и состоят из затрат на энергоресурсы и расходные материалы,

содержание эксплуатационного персонала, чистку и мойку подвижного состава, техническое обслуживание, текущие, капитальные и внеплановые ремонты.

Срок службы – это календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние. Под целесообразным сроком службы вагона понимается промежуток времени, обеспечивающий состояние, когда разница доходов от эксплуатации вагона и всех затрат на его постройку, ремонт и все виды обслуживания равна нулю. В этом случае дальнейшая эксплуатация вагона без производства капитально-восстановительного ремонта или капитального ремонта с продлением срока службы будет приносить убыток железнодорожному транспорту.

Экономическая модель оценки срока службы грузового вагона определяется следующим выражением [46]:

$$\sum_{i=1}^t D_i - \sum_{i=1}^t P_i \geq 0. \quad (5.1)$$

где:  $t$  – целесообразный срок службы грузового вагона, лет;

$D_i$  – доход от эксплуатации вагона за период времени, руб.;

$P_i$  – эксплуатационные расходы за период времени, руб.

При оценке стоимости жизненного цикла грузового вагона необходимо рассматривать безубыточность его эксплуатации в течение назначенного срока службы. Безубыточность должна контролироваться на каждом этапе эксплуатации, в том числе при повышении интенсивности отказов, после ремонтов и модернизации. Другими словами, эксплуатация полувагона экономически необоснованной будет тогда, когда затраты на его текущее содержание в межремонтном периоде будут превышать доходы от его эксплуатации за данный период времени. При этом надо понимать, что доходы от эксплуатации вагона напрямую зависят от его безотказного состояния и могут определяться выражением [47]

$$D_i = \tau_i C_i \cdot \bar{P}(t), \quad (5.2)$$

где  $\tau_i$  – период эксплуатации вагона, сут.;

$C_i$  – среднесуточный доход от использования вагона для перевозки грузов, руб.;

$$\bar{P}(t) = \int_{t_{i-1}}^{t_i} P(t) dt \quad - \quad \text{математическое ожидание вероятностей безотказной}$$

работы вагона за период эксплуатации.

Следует отметить, что потеря вагоном работоспособности и потребительских свойств в период эксплуатации – неотвратимый процесс, протекающий с большей или меньшей интенсивностью в зависимости от выполненного объема работ, долговечности материалов, примененных в конструкции вагона, и достигнутого уровня обеспечения сохранности вагона при погрузочно-разгрузочных и маневровых работах. Чем жестче условия эксплуатации и ниже уровень сохранности, тем быстрее физически изнашивается вагон. В конечном счете это приводит к необходимости исключения вагона из инвентаря как неспособного выполнять заданные функции. Ни одна система технического обслуживания и ремонта, какой бы эффективной она ни была, не в состоянии полностью устранить последствия физического и морального износа.

Под эффективным использованием вагона в современных условиях эксплуатации понимается набор эксплуатационных показателей, выполнение которых имеет прямую связь с доходностью вагона в единицу времени. Наиболее объективным показателем использования грузового вагона в перевозочном процессе является коэффициент порожнего пробега, который характеризует долю порожнего пробега к общему пробегу вагона в межремонтном периоде. Коэффициент порожнего пробега на российских железных дорогах в 2007 и 2008 гг. составлял 39 %, в 2009 г. – 41 % (рисунок 5.3) [48].

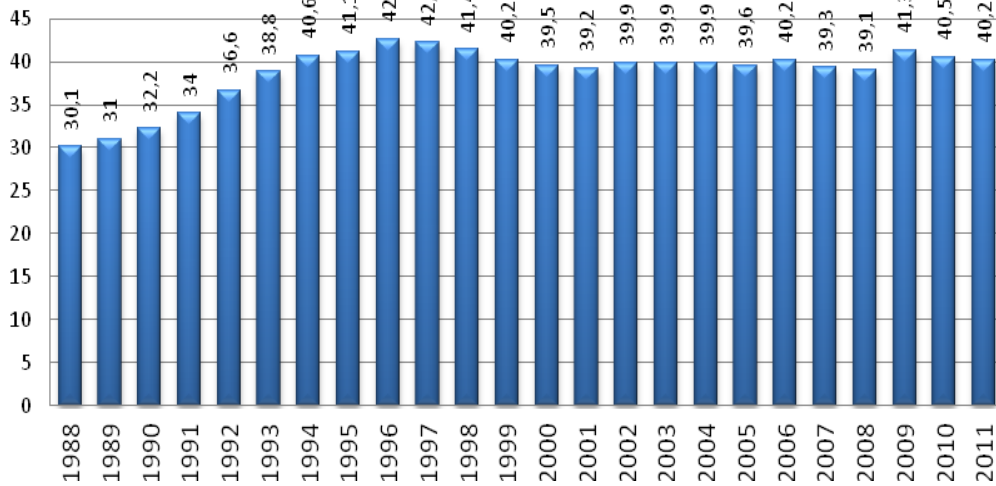


Рисунок 5.3 – Динамика изменения коэффициента порожнего пробега на железных дорогах СССР и России

Сегодня рост парка собственных и арендованных вагонов требует эффективного управления по единой технологии работой подвижного состава. Процесс перевозок в частном подвижном составе усложняется за счет дополнительных элементов бизнес-процесса перевозки и, соответственно, дополнительных связей, образующихся с появлением новых «игроков» на транспортном рынке. Главная проблема состоит в отсутствии единой системы управления частным парком подвижного состава. Эффективное управление перевозками возможно только при единой диспетчеризации работы подвижного состава разных собственников, причем в задачи такой деятельности входят не только диспетчеризация перевозок, но и контроль простоев и погрузки, подбор грузов для кольцевых перевозок, организация обратной загрузки, выбор экономически эффективного маршрута и др. Расчеты показывают, что в зависимости от коэффициента порожнего пробега полувагона среднесуточный доход от его использования варьируется от 1500 до 7000 руб. в сутки [49].

Среднегодовые расходы за жизненный цикл вагона определяются, в свою очередь, выражением:

$$P_i = \frac{C_{\epsilon}}{t} + \frac{C_{\mathcal{M}}}{t} + \frac{\sum_{j=1}^k C_{\kappa j}}{t} + \frac{\sum_{m=1}^n C_{\partial p m}}{t} + K_{mpi} C_{mpi} + K_{nni} C_{nni} + K_{\epsilon i} C_{\epsilon i}. \quad (5.3)$$

где  $C_{\epsilon}$  – затраты на приобретение нового грузового вагона, руб.;

$C_{\mathcal{M}}$  – затраты на модернизацию вагона, руб.;

$k$  – число капитальных ремонтов за срок службы вагона;

$C_{\kappa j}$  – стоимость  $j$ -го капитального ремонта вагона, руб.;

$n$  – число деповских ремонтов за срок службы вагона;

$C_{\partial p m}$  – стоимость  $m$ -го деповского ремонта вагона, руб.;

$K_{mpi}$  – количество текущих отцепочных ремонтов в объеме ТР-2 за срок службы вагона;

$K_{nni}$  – количество текущих отцепочных ремонтов в объеме ТР-1 за срок службы вагона;

$K_{\epsilon i}$  – количество отказов, устраненных в пути следования за срок службы вагона;

$C_{mpi}$  – средняя стоимость текущего ремонта вагона в объеме ТР-2 в  $i$ -м году, руб.;

$C_{nni}$  – средняя стоимость текущего ремонта вагона в объеме ТР-1 в  $i$ -м году, руб.;

$C_{\epsilon i}$  – средняя стоимость устранения одного отказа грузового вагона в пути следования в  $i$ -м году, руб.

Для каждой конструкции в отдельности срок ее службы является случайной величиной. И как любую случайную величину его можно предсказать лишь с некоторой вероятностью. Для каждого конкретного вагона при определении фактического срока службы требуется индивидуальный подход. В некоторых случаях экономически целесообразно списать вагон до истечения назначенного срока службы из-за возникновения неподдающегося ремонту физического износа или морального старения. А в других –

целесообразно продлить срок полезного использования, например когда появились новые технологии капитального ремонта предельно изношенных элементов конструкций.

Поэтому можно утверждать, что назначенный или планируемый срок службы конструкции определяется исходя из экономической целесообразности использования подвижного состава по назначению, его технического обслуживания и ремонта, то есть носит экономический характер.

Графические решения оптимального срока службы полувагона по критерию безубыточности (с продлением и без продления срока службы) показаны на рисунках 5.4–5.11.

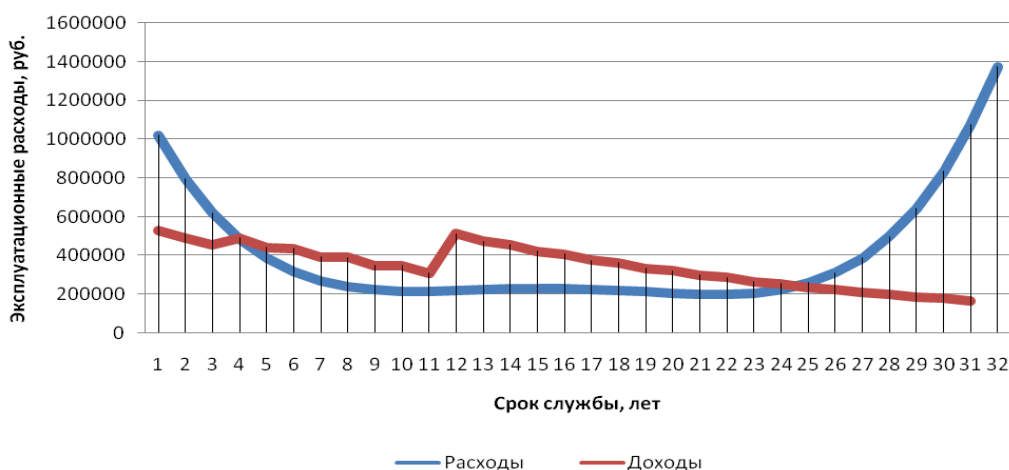


Рисунок 5.4 – Оптимальный срок службы полувагона (без КРП) при 50 %-м порожнем пробеге

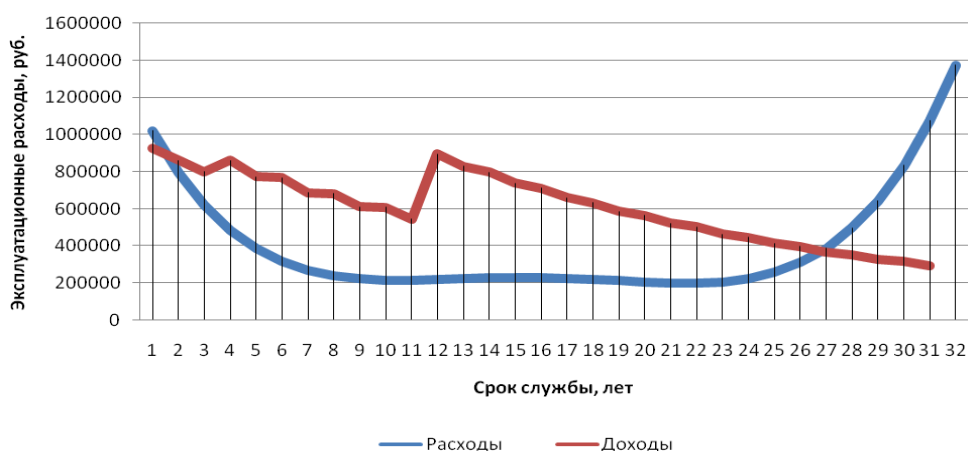


Рисунок 5.5 – Оптимальный срок службы полувагона (без КРП) при 40 %-м порожнем пробеге

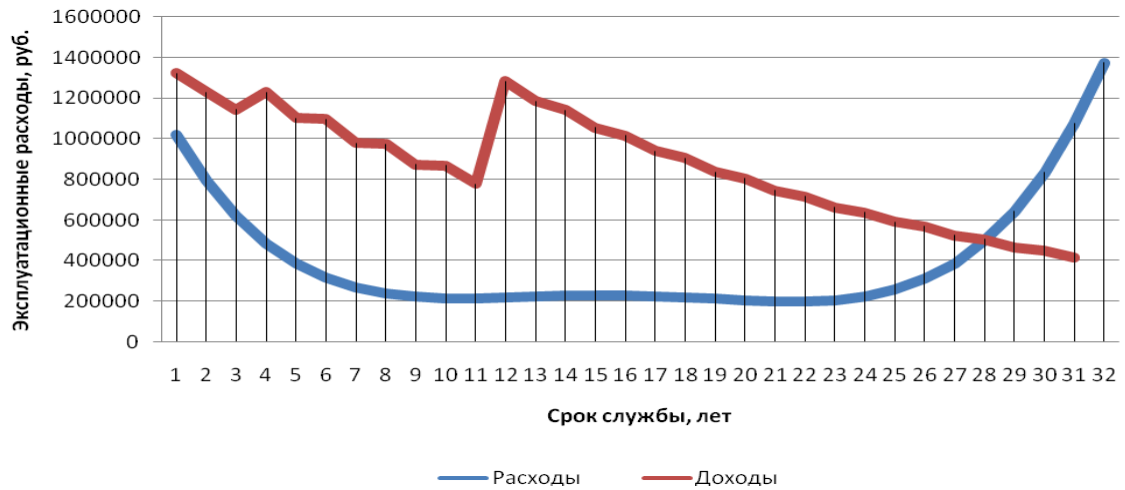


Рисунок 5.6 – Оптимальный срок службы полувагона (без КРП) при 30 %-м порожнем пробеге

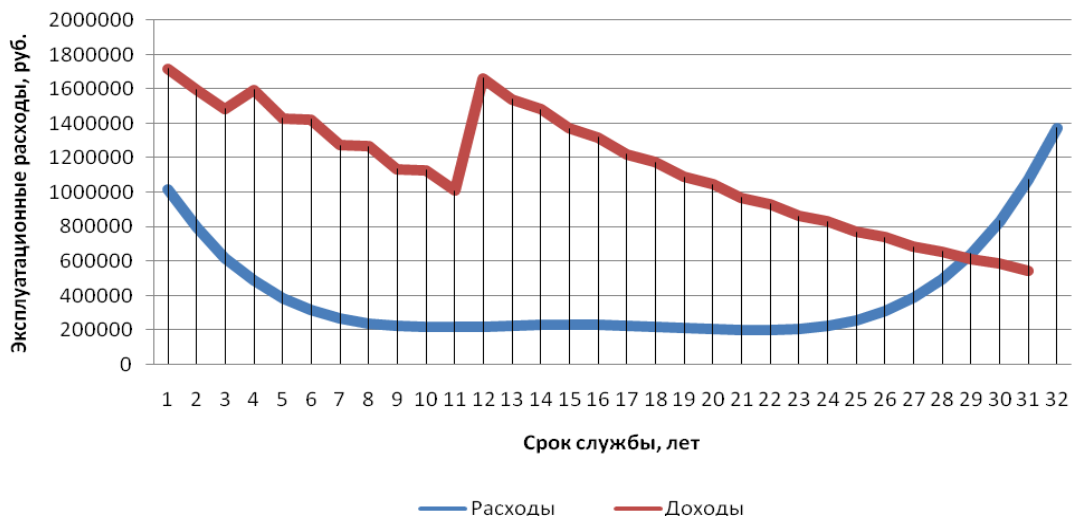


Рисунок 5.7 – Оптимальный срок службы полувагона (без КРП) при 20 %-м порожнем пробеге

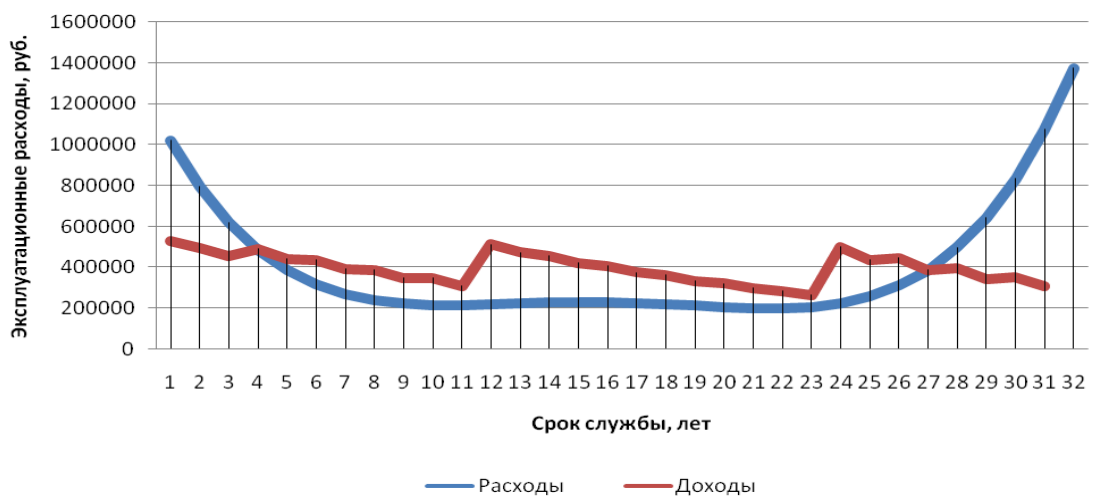


Рисунок 5.8 – Оптимальный срок службы полувагона (с КРП) при 50 %-м порожнем пробеге

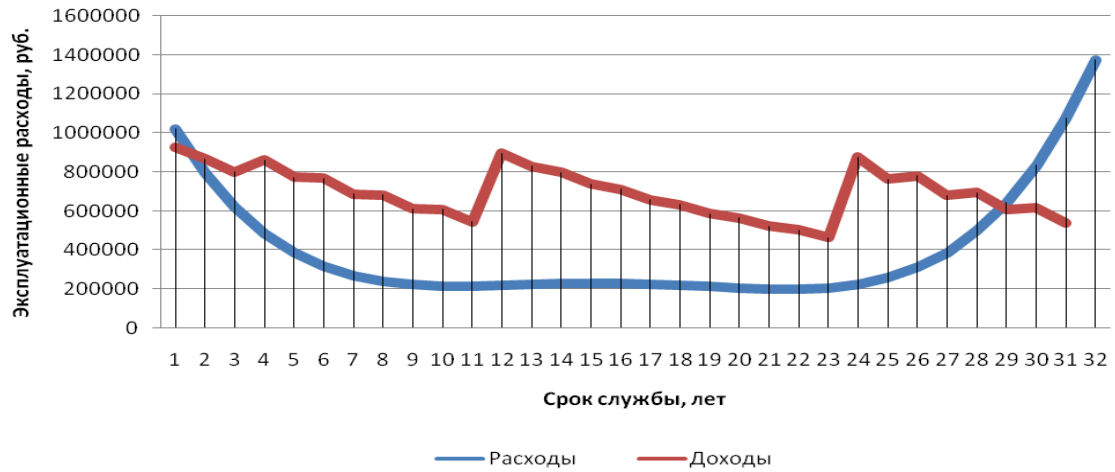


Рисунок 5.9 – Оптимальный срок службы полувагона (с КРП) при 40 %-м порожнем пробеге

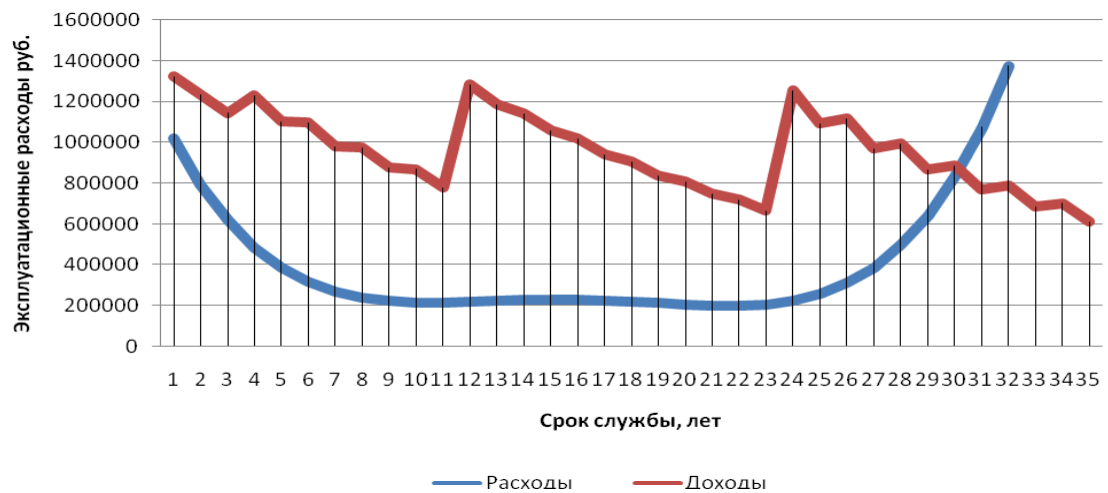


Рисунок 5.10 – Оптимальный срок службы полувагона (с КРП) при 30 %-м порожнем пробеге



Рисунок 5.11 – Оптимальный срок службы полувагона (с КРП) при 20 %-м порожнем пробеге

Следовательно, исходя из полученных решений, по критерию безубыточности, назначенный срок службы полувагона может варьироваться от 24 до 30 лет в зависимости от эффективности его использования в перевозочном процессе и количества капитальных ремонтов.

### **5.3 Анализ действующей системы технического обслуживания и ремонта полувагонов**

Система технического обслуживания и ремонта (ТОР) вагона является важнейшим фактором, влияющим на уровень безопасности движения (БД) и эксплуатационных затрат железных дорог. По сути говоря, система ТОР – это основная инструкция, согласно которой работает вагонное хозяйство (ВХ).

Под воздействием таких обстоятельств, как совершенствование вагонных конструкций, развитие информационной среды на транспорте, появление новых технологий ремонта и т. п. параметры и даже идеологию системы ТОР время от времени приходится подвергать пересмотру.

Согласно ГОСТ 18322-78 под системой ТОР понимается комплекс технической документации, работников и технологического оборудования.

Это определение отражает глобальную суть системы, но оно нетехнологично относительно разработки соответствующих моделей, направленных на расчетное обоснование структуры и параметров системы ТОР. Как минимум нужно, чтобы определение отражало тот факт, что упомянутая система является почти такой же индивидуальной характеристикой изделия транспортного машиностроения долговременного пользования (при нормированных условиях эксплуатации), каким является, скажем, спектр его собственных частот. В связи с этим под системой ТОР вагона будем понимать

совокупность типов и чередование таких ее компонентов, как ремонты (в данном случае КР-1, КР-2, ТР, ДР, КВР), техническое обслуживание (ТО-1, ТО-2, ТО-3, ТО-4) и технические осмотры, которые взаимоувязаны стратегиями и объемами работ по их осуществлению.

Под стратегией ремонта понимается правило, согласно которому работники вагонной службы изымают вагон из эксплуатации и отправляют в ремонт в зависимости от развития ситуации (например, пробег вагона достиг заранее назначенного значения, произошел отказ или техническое состояние вагона достигло, по мнению экспертов, предельного значения и т. п.).

До сих пор можно, к сожалению, слышать утверждение некоторых специалистов, что принятая в нашей стране система ремонта является планово-предупредительной и потому, по их мнению, самой прогрессивной. Такая характеристика системы ремонта является грубой и неверной. Во-первых, ТР вагона не является ни плановыми во времени, ни предупредительными. Во-вторых ДР и КР зачастую имеют не предупредительный, а аварийный характер. Причина последнего кроется в особенностях конструкции, а также в вероятности брака осмотрщиков вагонов.

Действующая система технического обслуживания и ремонта вагонов [50] (утверждена распоряжением старшего вице-президента В. А. Гапановича № 2759 от 29.12.2012 г.) предусматривает следующие виды технического обслуживания и ремонта:

- техническое обслуживание – ТО;
- техническое обслуживание с диагностированием – ТОД;
- текущий отцепочный ремонт (ТР) подразделяющийся:
  - на текущий отцепочный ремонт в объеме ТР-1;
  - на текущий отцепочный ремонт в объеме ТР-2;
- деповской ремонт – ДР;
- капитальный ремонт – КР;
- капитальный ремонт с продлением срока службы – КРП.

**Техническое обслуживание вагона (ТО)** - комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности вагона в сформированных или транзитных поездах, а также порожнего вагона при подготовке к перевозкам без его отцепки от состава или группы вагонов.

**Техническое обслуживание с диагностированием (ТОД)** – комплекс операций по инструментальному контролю технического состояния составных частей вагона с использованием диагностических средств, переводом вагонов в нерабочий парк и подачей на специализированные пути.

**Текущий отцепочный ремонт вагона (ТР)** – ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности вагона с заменой или восстановлением отдельных составных частей, отцепкой от состава или группы вагонов, переводом в нерабочий парк и подачей на специализированные пути.

По состоянию грузового вагона, месту обнаружения его отказа и отцепки, объему выполнения работ существует следующая классификация текущих отцепочных ремонтов.

**Текущий отцепочный ремонт вагона (ТР-1)** – ремонт порожнего вагона, выполняемый при его подготовке к перевозке с отцепкой от состава или группы вагонов.

**Текущий отцепочный ремонт вагона (ТР-2)** – ремонт с целью восстановления работоспособности груженого или порожнего вагона, с отцепкой от транзитных и прибывших в разборку поездов или сформированных составов.

**Деновской ремонт вагона (ДР)** – ремонт, выполняемый для восстановления исправности и частичного восстановления ресурса вагона с заменой или восстановлением составных частей ограниченной номенклатуры и контролем технического состояния составных частей.

**Капитальный ремонт вагона (КР)** – ремонт, выполняемый для восстановления исправности полного или близкого к полному восстановлению ресурса вагона с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые.

**Капитальный ремонт с продлением срока службы (КРП)** – контроль технического состояния всех несущих элементов конструкции вагона с восстановлением их назначенного ресурса, заменой или восстановлением любых его составных частей, включая базовые, и назначением нового срока службы.

**Техническое обслуживание с диагностированием (ТОД)** – является внеплановым техническим обслуживанием, постановка на которое осуществляется по специальному представлению (решению) управляющих органов инфраструктуры/железнодорожной администрации или других, на которые в соответствии с национальным законодательством возложены обязанности по контролю за обеспечением безопасности эксплуатации грузового вагонного парка. Необходимость производства ТОД определяется по результатам эксплуатации вагонов или их составных частей при выявлении случаев нарушения технологии изготовления/ремонта, влекущих за собой возникновение внезапных отказов составных частей вагонов, определяющих безопасность их эксплуатации.

Текущий отцепочный ремонт (ТР-1 и ТР-2) является внеплановым видом ремонта, постановка на который осуществляется без предварительного назначения по техническому состоянию вагона. Случай отцепки вагона в ТР-2 подлежит расследованию порядком, установленным железнодорожной администрацией/владельцем инфраструктуры.

Деповской (ДР) и капитальный (КР) ремонты вагонов являются плановыми видами, постановка на которые осуществляется по установленным нормативам.

Капитальный ремонт с продлением срока службы (КРП) является внеплановым (без предварительного назначения) и осуществляется по техническим условиям, согласованным установленным порядком.

Неисправными считаются вагоны, которые по своему техническому состоянию не могут быть допущены к эксплуатации на железнодорожные пути общего пользования.

Неисправность вагона устанавливается работниками инфраструктуры железнодорожной администрации или другими работниками, на которых в соответствии с национальным законодательством, возложены обязанности по техническому обслуживанию и контролю над техническим состоянием вагона.

Нормативы периодичности производства капитальных ремонтов установлены по критерию календарной продолжительности эксплуатации вагона от постройки (капитального ремонта) до момента подачи вагона в первый (последующий) капитальные ремонты.

Нормативы периодичности производства деповских ремонтов, устанавливаются по выбору юридического или физического лица, владеющего вагоном на праве собственности или любом ином правовом основании (далее владелец) по одному из критериев:

- по комбинированному критерию, одновременно учитывающему фактически выполненный объем работ, выраженный в километрах пробега вагона, и календарную продолжительность, выраженную в годах, использования вагона от постройки (планового ремонта) до момента подачи вагона в первый (последующий) плановый ремонт, при этом вагон выводится в ремонт при достижении одного из двух указанных показателей;

- по единичному критерию календарной продолжительности эксплуатации вагона, выраженной в годах, от постройки (планового ремонта) до момента подачи вагона в первый (последующий) плановый ремонт.

Комбинированный критерий применяется для четырех- и восьмиосных вагонов с восьмизначной нумерацией, используемых для перевозки грузов, свойственных их моделям и конструктивным особенностям, зарегистрированных установленным порядком в Автоматизированном банке данных парка грузовых вагонов ИВЦ ЖА (далее АБД ПВ) и допущенных по решению владельца инфраструктуры железнодорожной администрации к эксплуатации по системе технического обслуживания и ремонта с учетом фактически выполненного объема работ. Учет выполненного объема работ,

выраженного в километрах пробега вагона, и учет календарной продолжительности, выраженной в годах, осуществляется ИВЦ ЖА.

Отсчет межремонтного норматива (комбинированного или единичного) начинается с момента изготовления, производства плановых видов ремонтов или ремонта с продлением срока службы, документально оформленного в установленном порядке. Использование вагона (порожного/груженого) в рабочем парке с достигнутым межремонтным нормативом (комбинированным или единичным) не допускается. Допускается использовать вагоны с истекшим сроком капитального ремонта для перевозки грузов до истечения межремонтного норматива от последнего деповского ремонта, с последующим обязательным направлением грузового вагона в капитальный ремонт.

Вагонам после производства КРП, выполненного по утвержденным Техническим условиям, кроме восьмиосных цистерн для бензина и светлых нефтепродуктов, первый и последующие деповские и капитальные ремонты производятся по нормативам, установленным от последнего капитального ремонта. Вагоны с продленным сроком службы после производства деповского ремонта (ДР), выполненного по результатам технического диагностирования, подлежат очередным плановым ремонтам только по критерию календарной продолжительности эксплуатации вагона.

Грузовым вагонам на тележках – Типа 2 по ГОСТ 9246-2004, отремонтированных по РД 32 ЦВ 052-2009 с установкой износостойких элементов в узлах трения, норматив пробега после производства деповского ремонта до следующего планового ремонта устанавливается в размере 160 тыс. км при сохранении предельной календарной продолжительности межремонтного периода. Полувагонам на тележках – Типа 2 по ГОСТ 9246-2004, отремонтированных с установкой износостойких элементов в узлах трения, единичный критерий календарной продолжительности эксплуатации вагона устанавливается с периодичностью в три года. Применение в подшипниках буксовых узлов всех типов смазки ЛЗ-ЦНИИ(у), Буксол, ЗУМ позволяет устанавливать пробег до первого деповского ремонта 450 тыс. км.

Применение кассетных и сдвоенных подшипников, обеспечивающих гарантированную наработку на отказ не менее 500 тыс. км пробега, позволяет устанавливать аналогичный пробег для грузовых вагонов.

В таблицах 5.6–5.8 приведены нормативы периодичности проведения плановых ремонтов полувагонов.

Таблица 5.6

Нормативы периодичности проведения капитального ремонта полувагонов

| Род грузового вагона             | Назначенный<br>срок службы<br>(лет) | Капитальный<br>ремонт после<br>постройки<br>(лет) | Капитальный<br>ремонт после<br>капитального<br>ремонта<br>(лет) |
|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Полувагоны, постройки до 1985 г. | 22                                  | 8                                                 | 8                                                               |
| Полувагоны, постройки с 1985 г.  | 22                                  | 11                                                | ---                                                             |

Таблица 5.7

Нормативы периодичности проведения деповского ремонта полувагонов по комбинированному критерию

| Род грузового вагона                                                                                         | Депо́вской ремонт по комбинированному критерию<br>(календарной продолжительности и фактически выполненного<br>объема работы), после |         |                    |         |                         |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|---------|-------------------------|---------|
|                                                                                                              | постройки                                                                                                                           |         | деповского ремонта |         | капитального<br>ремонта |         |
|                                                                                                              | тыс. км                                                                                                                             | в годах | тыс. км            | в годах | тыс. км                 | в годах |
| Полувагоны универсальные, с глухим кузовом, постройки с 2004 г. на тележках моделей 18-578, 18-7020, 18-9771 | 450                                                                                                                                 | 4       | 160                | 3       | 160                     | 3       |
| Полувагоны универсальные, с глухим кузовом.                                                                  | 210                                                                                                                                 | 3       | 110                | 2       | 160                     | 2       |

Нормативы периодичности проведения деповского ремонта полувагонов по единичному критерию

| Род грузового вагона             | Депо́вской ремонт по единичному критерию календарной продолжительности эксплуатации вагона, после |                     |                        |                      |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|
|                                  | постройки                                                                                         | В период до 1-го КР | В период после 1-го КР | Капитального ремонта |
| Полувагоны, постройки до 1985 г. | 3                                                                                                 | 1                   | 1                      | 2                    |
| Полувагоны, постройки с 1985 г.  | 3                                                                                                 | 1                   | 1                      | 2                    |

При стратегии ДР, согласно таблицам 5.6 – 5.8, решение об отцепке вагона в ремонт принимается по показанию трафарета и данным ГВЦ ОАО «РЖД» о моменте достижения пробега предельной величины. На самом деле решение заранее запрограммировано и принимается, как и прежде, не во взаимосвязи с техническим состоянием конкретного вагона. Нет гарантии, что в ДР не будут попадать вагоны, которым он еще не требуется.

Между тем в последние годы разработаны принципы устойчивого функционирования больших систем, к которым относится и вагонное хозяйство. Математически строго доказано, что жесткое планирование и централизованная регламентация работы таких систем приводит, в конце концов, к их несостоятельности и даже к гибели. Нужны обратные связи в управлении подобными системами, при которых предполагается принятие определенной части решений на местах. Роль указанных обратных связей в управлении техническим состоянием подвижного состава должна выполнять стратегия ДР по состоянию. Вместо планирования моментов постановки вагонов в ДР предлагается планировать моменты постановки вагонов в глубокую диагностику, по результатам которой должно приниматься решение о целесообразности или нецелесообразности постановки конкретного вагона в ремонт.

Для успешной эксплуатации системы ТОР вагонов необходимо, чтобы относительно каждой ее компоненты были регламентированы стратегия,

технологический процесс, параметры организации работ, а также различные ресурсы.

Возможны пять стратегий осуществления любой компоненты системы ТОР:

1. По наработке (пробег, тыс. км);
2. По календарной продолжительности (время, сут.);
3. По фактическому техническому состоянию;
4. По критическому значению определяющего параметра конструкции;
5. Комбинированная.

Возможны три правила постановки в ремонт: либо после отказа изделия, либо по достижению предельного допустимого состояния, либо после заранее установленной наработки изделием.

При организации технической эксплуатации сколько-нибудь сложных машин и конструкций прибегают к комбинации указанных трех стратегий. Достигается это благодаря использованию нескольких типов ремонтов и технического обслуживания. Правила взаимодействия стратегий соответствующих ремонтов во времени, по месту проведения ремонтных работ, по коммерческому состоянию вагона и т. п. составляют стратегию системы технического обслуживания и ремонта (ТОР).

Если ремонт происходит в заранее назначенный момент времени, то он является плановым. И наоборот, если объем ремонтных работ заранее установлен, то такой ремонт называется регламентированным, то есть плановым по объемам восстановительных работ.

Нормативный срок службы универсального полувагона составляет 22 года. Проведем идентификацию структуры действующей системы ремонта четырехосного полувагона. Основные эксплуатационные показатели работы полувагонов приведены в таблице 5.9. Составим матрицы межремонтных пробегов и сроков службы для действующей системы ТОР (таблицы 5.10 – 5.11).

Важной проблемой организации эксплуатации грузовых вагонов является обоснование срока их службы. В этом случае необходим учет сложного переплетения темпа деградации (физического и морального) вагонных конструкций и управления ими с помощью системы ТОР, экономики транспорта и вагоностроения, конъюнктуры цен и других факторов.

С давних пор сроки службы независимо и, как правило, директивно, назначаются изготовителем вагонов, а система ТОР – эксплуатирующей организацией, то есть ОАО «РЖД».

Таблица 5.9

Основные эксплуатационные показатели полувагонов

| Показатель              | Размерность | Значение |
|-------------------------|-------------|----------|
| Средесуточный пробег    | км/сут.     | 330      |
| Нормативный срок службы | лет         | 22       |
| Месячный пробег вагона  | км          | 10000    |

Таблица 5.10

Матрица межремонтных сроков службы полувагонов

| Циклы                                                                | Межремонтные периоды |        |        |        |          |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|----------|
| Срок эксплуатации от постройки до первого капитального ремонта (лет) | Постройка            | ДР № 1 | ДР № 2 | ДР № 3 | ДР № 4   |
|                                                                      | ДР № 1               | ДР № 2 | ДР № 3 | ДР № 4 | КР       |
|                                                                      | 3                    | 2      | 2      | 2      | 2        |
| Срок эксплуатации от капитального ремонта до списания (лет)          | КР                   | ДР № 5 | ДР № 6 | ДР № 7 | ДР № 8   |
|                                                                      | ДР № 5               | ДР № 6 | ДР № 7 | ДР № 8 | Списание |
|                                                                      | 2                    | 2      | 2      | 2      | 2        |

Матрица межремонтных пробегов полувагонов

| Циклы                                                             | Межремонтные периоды |        |        |        |          |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|----------|
| Наработка от постройки до первого капитального ремонта (тыс. км.) | Постройка            | ДР № 1 | ДР № 2 | ДР № 3 | ДР № 4   |
|                                                                   | ДР № 1               | ДР № 2 | ДР № 3 | ДР № 4 | КР       |
|                                                                   | 250                  | 160    | 160    | 160    | 160      |
| Наработка от капитального ремонта до списания (тыс. км.)          | КР                   | ДР № 5 | ДР № 6 | ДР № 7 | ДР № 8   |
|                                                                   | ДР № 5               | ДР № 6 | ДР № 7 | ДР № 8 | Списание |
|                                                                   | 160                  | 160    | 160    | 160    | 160      |

Известно, чем лучше организован технический уход, тем дольше исправно служит техника. Крайне важно найти научно обоснованное соответствие между параметрами системы ТОР и сроком службы вагонов. К сожалению, этому препятствуют подходы, лежащие в основе разработки действующей системы ТОР грузовых вагонов и директивное назначение сроков службы.

Высокие цены на продукцию вагоностроения заставляют компании продлевать сроки службы грузовых вагонов посредством проведения капитально-восстановительного ремонта (КВР). При этом не выдерживают критики попытки регламентировать дополнительные сроки службы вагонов, структуру их сроков и межремонтных пробегов в их пределах вне связи с методами расчетного обоснования системы ТОР.

Специфика объекта ремонта и технического обслуживания, а, следовательно, и системы его ТОР состоит в том, что грузовые вагоны используются обезличенным образом. Следовательно, и ТОР имеет обезличенный характер. Как правило, на конструкции и машины можно завести так называемый бортовой журнал, то есть наладить постоянное наблюдение за изделием с тем, чтобы рационально использовать его по назначению и своевременно проводить профилактику отказов. Кроме того, восстанавливает его работоспособное состояние один и том же коллектив работников, что

способствует повышению ответственности за качество ремонта. Эти изделия либо не меняют своего местоположения (мост, станок), либо используются по своему назначению в определенных маршрутах (самолет, пассажирский вагон, локомотив), либо не имеют закрепленных маршрутов, но в конце смены «паркуются» на одном и том же предприятии (такси), либо имеют на своем борту обслуживающий персонал (судно).

Грузовой магистральный вагон невозможно отнести ни к одному из перечисленных видов изделий. Поэтому говорят, что грузовой подвижной состав не имеет хозяина (хозяин значится в документах лишь номинально).

Известно, что условия эксплуатации в значительной степени влияют на параметры системы ТОР. При разработке системы ТОР данное обстоятельство не учитывалось. И, наконец, отметим, что в настоящее время отсутствует научно обоснованное согласование периодичности плановых ремонтов и уровня безопасной эксплуатации грузовых вагонов и возможностей их ремонтного хозяйства.

Для выбора эффективных путей устранения хотя бы некоторых из указанных недостатков действующей системы ТОР необходима разработка методических основ оптимизации не только структуры и параметров этой системы, но и сроков службы грузовых вагонов. В связи с этим следует в первую очередь определиться с объектом оптимизации и с целевой функцией к оптимизационной задаче. В качестве упомянутого объекта целесообразно использовать математический аналог системы ремонта в виде матрицы межремонтных пробегов:

$$\begin{pmatrix} l_{11} & K & l_{1m_1} & & & & & & \\ l_{21} & K & l_{2m_1} & K & l_{2m_2} & & & & \\ l_{31} & K & l_{3m_1} & K & l_{3m_2} & K & l_{3m_3} & & \\ K & K & K & K & K & K & K & K & \\ K & K & K & K & K & K & K & K & K \\ l_{n1} & K & l_{nm_1} & K & l_{nm_2} & K & l_{nm_3} & K & K & l_{nm_n} \end{pmatrix}, \quad (5.4)$$

где  $l_{ij}$  –  $j$ -й межремонтный пробег в пределах  $i$ -го ремонтного цикла.

Здесь с помощью параметров  $m_1, m_2, \dots, m_n$ , удовлетворяющих неравенствам

$$m_1 < m_2 < \dots < m_n, \quad (5.5)$$

задана структура системы ремонта. Указанная матрица обладает следующими свойствами: число строк на единицу больше числа капитальных ремонтов за срок службы вагона; количество элементов в  $i$ -ой строке соответствует структуре  $i$ -го ремонтного цикла, то есть количеству межремонтных периодов (или на единицу больше числа ДР) в пределах этого цикла; сумма всех элементов матрицы есть срок службы вагона.

Оптимальная матрица одновременно позволит получить:

- оптимальное количество КР за срок службы вагона;
- оптимальное количество ДР в пределах каждого ремонтного цикла;
- оптимальные межремонтные пробеги между плановыми ремонтами;
- оптимальный срок службы вагона.

Согласно канонам теории систем целевая функция должна отражать качество функционирования системы на ранг выше рассматриваемой

Поэтому в качестве целевой функции следует использовать показатель качества работы компании ОАО «РЖД». В качестве такового целесообразно использовать себестоимость единицы пробега вагона. Обозначим целевую функцию через  $f(l_{ij})$ , которая определена на множестве матриц (5.1).

Составляющими себестоимости единицы пробега вагона являются затраты:

- на капитальный ремонт;
- на деповской ремонт;
- на приобретение вагона;
- на текущие ремонты и техническое обслуживание;
- на содержание инфраструктуры, осуществляемое другими хозяйствами.

Четвертую составляющую себестоимости будем называть эксплуатационными затратами, так как их удельные значения возрастают во времени. Удельные величины первых двух составляющих себестоимости, как будет показано далее, в соответствующих периодах эксплуатации убывают. Удельные величины остальных составляющих являются монотонно убывающими функциями на интервале времени, равном сроку службы вагона.

На аргументы целевой функции следует наложить два ограничения. С помощью первого моделируется факт влияния мероприятий по обеспечению БД на систему ремонта. Любая компонента матрицы не должна быть больше установленной периодичности глубоких диагностик  $l_{БД}$  (так называемый параметр безопасности вагона), то есть

$$l_{ij} < l_{БД} . \quad (5.6)$$

Методика определения оптимального значения параметра безопасности вагона  $l_{БД}$  с учетом всех необходимых факторов является сложной задачей и заслуживает отдельного рассмотрения. Допустимо использование приближенной оценки этого параметра согласно формуле

$$l_{БД} \equiv M\tau = \int_0^{\infty} \bar{F}_1(t) \cdot \bar{F}_2(t) \cdot K \cdot \bar{F}_n(t) dt , \quad (5.7)$$

где:  $F_i(t)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -й составной части вагона за время  $t$ .

При этом каждая составная часть, включаемая в расчетную схему вагона, должна удовлетворять двум условиям: ограниченная контролепригодность в условиях эксплуатации; разрушение составной части чревато крушением поезда.

Поскольку разрушение пробных составных частей обычно происходит внезапно (для работников транспорта), то уместно предположить экспоненциальность закона распределения наработок до упомянутого события.

В этом случае получаем формулу для нижней оценки параметра безопасности вагона, в качестве которой будем использовать максимально допустимый интервал между глубокими диагностиками  $l_{БД}$ :

$$l_{БД} \equiv M\tau = \left( \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{t_i} \right)^{-1}, \quad (5.8)$$

где  $t_i$  – средняя наработка  $i$ -й составной части грузового вагона до рассматриваемого события (разрушения или обнаружения опасного повреждения);

$m_i$  – кратность  $i$ -й составной части вагона.

Величина  $l_{БД}$  является неким связывающим звеном между параметрами конструкции вагона и параметрами инфраструктуры ВХ.

Второе ограничение на аргументы целевой функции  $f(l_{ij})$  вводится с помощью неравенства:

$$\left| \frac{M}{\Pi(l_{ij})} - \alpha \right| \leq \varepsilon, \quad (5.9)$$

где  $\Pi(l_{ij})$  – функция, определенная на множестве матриц  $(l_{ij})$  и предназначенная для подсчета потребности в ДР вагонов рассматриваемой совокупности в течение интересующего нас календарного года;

$\varepsilon$  – требуемая точность расчетов  $(0,05 \div 0,1)$ .

Благодаря этому неравенству при выборе оптимальной системы ремонта учитываются возможности ремонтной базы, которые оцениваются с помощью ее мощности  $M$ . При этом с помощью так называемого коэффициента технологического запаса мощности ремонтного хозяйства вагонов

рассматриваемой совокупности  $\alpha$  исключается вариант работы ремонтных предприятий на пределе или за пределами своих возможностей, без чего трудно обеспечить требуемый уровень качества ремонта.

Задача состоит в том, чтобы на допустимом множестве матриц  $(l_{ij})$  выделить ту, на которой целевая функция  $f(l_{ij})$  принимает минимальное значение, существование которого доказано. Под допустимым множеством матриц  $(l_{ij})$  понимается такое, в котором каждая матрица одновременно удовлетворяет неравенствам (5.5) и (5.6).

В заключение отметим, что самым сложным этапом является подготовка исходных данных о росте затрат на ДР (КР и ТР) по мере старения вагона. Существующий в настоящее время на транспорте механизм финансирования затрат вагонных депо на ремонты и техническое обслуживание вагонов таков, что, во-первых, нормативы затрат на ДР и КР для каждой дороги индивидуальны. Во-вторых, в бухгалтерских документах затраты на ремонты проходят одинаковыми для вагонов различного года выпуска, что, конечно, не соответствует действительности. По известным причинам сведения о действительных затратах на ремонты и техническое обслуживание почти невозможно получить.

#### **5.4 Расчет параметров системы технического обслуживания и ремонта полувагонов**

Система ТОР грузовых вагонов в широком смысле — это комплекс нормативной документации, средств ремонта и персонала. К вагонному хозяйству относят и вагонные парки. Однако грузовые вагоны, за исключением

рефрижераторного подвижного состава, приписаны, да и то условно, к дорогам, а не к конкретным вагоноремонтным предприятиям. С учетом этого замечания будем считать понятия «вагонное хозяйство» и «система ТОР вагонов» идентичными. Инженер-производитель может методом проб и ошибок искать свои пути совершенствования форм и методов ремонта вагонов в соответствии с местными условиями депо. Однако всякое движение, в том числе в области НТП, должно быть экономным. Поэтому за формулировками признаков идеальности системы ТОР должна стоять научная позиция, «философия» НТП вагонного хозяйства, методы его организации.

Относительно любой составляющей системы ремонта имеет место три задачи: стратегия (в частности, периодичность постановки в ремонт), организация работ и разработка технологических процессов. Оказывается, что в проблематику вагонного хозяйства удобно войти на основе решения первой задачи – определение оптимальной периодичности плановых ремонтов крупного объема основных типов грузовых вагонов, если стратегия их ремонтов осуществляется по наработке.

#### **5.4.1 Выбор объекта оптимизационной задачи**

Исторически исследования в области вагонного хозяйства ведутся по двум автономным направлениям:

- совершенствование технологии и организации ремонта, повышение эффективности и ремонтной базы;
- совершенствование вагонных конструкций в части их прочности и динамических качеств.

Методическое объединение упомянутых направлений позволило бы заниматься совершенствованием не отдельных элементов транспортной системы, а в целом, комплексно, а также оценивать новые конструктивные решения вагонов в рамках производственно-технологических систем. Основой этого объединения может стать объект исследования – система «вагон-среда». В этом случае представляется возможным оптимизировать параметры конструкций вагонов и инфраструктуры вагонного хозяйства в рамках единого формально-математического аппарата.

На этапах предпроектных исследований и разработки концепции новой конструкции подвижного состава к нему предъявляются три требования:

1. Обеспечение подходящих технико-экономических параметров (оптимальные геометрические размеры кузова);
2. Обеспечение безопасности движения;
3. Необходимость соответствия параметров проектируемой конструкции вагона, характеризующих такие ее свойства, как долговечность и ремонтпригодность к параметрам инфраструктуры ВХ или, можно сказать, эксплуатационной среды (мощность ремонтного хозяйства, размещение ремонтных предприятий на сети, их специализация).

Наша цель – найти такой объект исследования, относительно которого можно было бы поставить оптимизационную задачу, то есть учесть упомянутые выше требования, попытаться найти компромисс между параметрами конструкции и эксплуатационной средой вагонов

Однако сначала уточним понимание требований третьей группы. Вполне возможен вопрос: что к чему приспособливать – конструкцию вагона к параметрам инфраструктуры вагонного хозяйства или наоборот.

Собственно говоря, вагон приобретается не для того, чтобы было удобно его ремонтировать, а прежде всего, для эффективного его использования в перевозочном процессе. Отсюда следует, что ремонтное хозяйство должно подстраиваться под изменяющиеся параметры конструкции вагонов. Для этого должна существовать возможность в короткие сроки заменять старотипный

парк вагонов, что невозможно, так как вагон является изделием долговременного пользования и массового производства. По этой причине не так быстро, как хотелось бы, происходит модернизация вагонного парка. Так, перевод вагонов на автосцепку осуществлялся в течение 20 лет. Более длительным был переход на буксу с подшипниками качения. Еще медленнее идет процесс повышения технического уровня предприятий вагонного хозяйства.

В связи с этим на практике зачастую поступают наоборот – подгоняют параметры проектируемой конструкции под возможности ремонтного хозяйства, тем самым как бы программируется застой и в ремонтном хозяйстве, и вагоностроении. Получается заколдованный круг, и чтобы выйти из него, существует два пути.

1. Закладывать в проект значительно меньшие нормативные сроки службы проектируемых вагонов.

2. Практиковать процесс осторожного согласования параметров конструкций вагонов и ремонтного хозяйства путем их взаимного изменения.

С помощью соответствующей модели можно выбрать не только наиболее целесообразный путь разрешения рассматриваемой проблемы, но и пути ее реализации. В любом случае в рамках упомянутой модели должна существовать возможность одновременно варьировать и параметрами вагона, и параметрами инфраструктуры.

Таким образом, уточняя понимание совокупности требований третьей группы к проектируемой конструкции, мы не только по существу обосновали необходимость исследования модели системы «вагон-среда», но и получили ключ для достижения конечной цели.

Система «вагон-среда» состоит из неоднородных в известном смысле элементов. Необходимо найти связующее звено между вагоном и эксплуатационной средой, которое позволило бы рассматривать их вместе как целое.

Роль упомянутого звена предлагается отвести системе ремонта. Для этого необходимо лишь найти математический аналог системы ремонта, в качестве которого удобно принять матрицу  $(l_{ij})$ , каждый элемент которой есть  $j$ -й межремонтный пробег в пределах  $i$ -го ремонтного цикла. Количество строк этой матрицы соответствует числу ремонтных циклов вагона за срок службы, а число элементов в  $i$ -й строке определяет структуру  $i$ -го ремонтного цикла. Сумма всех элементов матрицы – нормативный срок службы вагона. Кроме того, с помощью задания матрицы  $(l_{ij})$  определенной конфигурации можно учитывать факт накопления неустраняемых повреждений по мере старения вагона.

Итак, в качестве объекта упомянутого анализа, относительно которого будет поставлена оптимизационная задача, следует использовать матрицу  $(l_{ij})$  – аналог или математическую модель системы ремонта вагона [8, с. 347-350].

#### **5.4.2 Требования к системе технического обслуживания и ремонта полувагонов**

Перечислим основные требования.

1. В качестве целевой функции, на базе которой конструируют критерий оптимизации системы ремонта вагона, следует использовать показатель качества функционирования системы, которая была бы на ранг выше вагонного хозяйства. В качестве такой системы следует взять железнодорожный транспорт в целом. Это условие выбора целевой функции является важнейшим требованием к любому системному исследованию. В качестве показателя качества функционирования транспорта можно принять себестоимость

единицы пробега вагона, объем выполненной вагоном работы и т.п., за которые принимается искомая целевая функция.

2. В расчеты должны закладываться реальные структуры системы ремонта и стратегии ее осуществления. Последнее наделяет методику оптимизации приспособленностью к учету тех или иных технологий, время от времени предлагаемых учеными и специалистами транспорта.

3. Форма эксплуатации грузовых вагонов является уникальной благодаря своей обезличенности. Это обстоятельство следует учитывать на уровне выкладок.

4. При выборе параметров системы ремонта необходимо закладывать требования к безопасности движения, так как уровень организации ремонта и технического обслуживания вагонов во многом влияет на безопасность движения на транспорте

5. Система ремонта должна быть соответствующим образом согласована с системами ремонта наиболее ответственных составных частей конструкции. Последнее облегчит заказчику вагонной техники с помощью расчета расценивать свою потребность в запасных частях.

6. Параметры системы ремонта вагона должны быть согласованы с возможностями ремонтной базы, а также с психофизиологическими возможностями работников в части отказа внимания, например осмотрщиков или ремонтников.

7. В качестве объекта оптимизации следует рассматривать систему «Вагон – эксплуатационная среда». При оптимизации системы ремонта необходимо учитывать свойства конструкции вагона.

8. База исходных данных, полученная с помощью отраслевой системы центрального пономерного учета вагонов, должна быть компактной и прозрачной, а ее получение должно основываться на анализе стандартных форм учета и отчетности, принятых на транспорте. Тем самым будет обеспечиваться реальная воспроизводимость результатов решения задачи – важный признак научности того или иного метода [8, с. 350-351].

### 5.4.3 Математическая формулировка задачи

Искомую задачу сформулируем применительно к полувагонам в виде следующей оптимизационной задачи:

$$\begin{cases} f(l_{ij}) \rightarrow \min; \\ l_{ij} \leq l_{БД}; \\ \left| \frac{M}{\Pi(l_{ij})} - \alpha \right| \leq \varepsilon. \end{cases}, \quad (5.10)$$

где  $f(l_{ij})$  – целевая функция, отражающая эффективность использования вагона по назначению;

$l_{БД}$  – параметр безопасности вагона, под которым понимается максимально допустимый пробег вагона между глубокими диагностиками;

$(l_{ij})$  – математический аналог системы ремонта вагона, представляющий собой матрицу, размер которой соответствует структуре системы ремонта;

$M$  – мощность ремонтного хозяйства вагонов рассматриваемого типа;

$\Pi(l_{ij})$  – потребность в глубоких диагностиках (или ДР в зависимости от стратегии этого ремонта) вагонов рассматриваемого типа в течение интересующего нас календарного года;

$\alpha$  – коэффициент технологического запаса мощности ремонтного хозяйства вагонов рассматриваемого типа;

$\varepsilon$  – требуемая точность расчетов (0,05-0,1).

Дадим словесную формулировку задачи. На допустимом множестве матриц  $(l_{ij})$  требуется выделить ту, на которой целевая функция  $f(l_{ij})$  принимает экстремальное значение. Под допустимым множеством матриц  $(l_{ij})$  понимаем такое, в котором каждая матрица одновременно удовлетворяет ограничениям (5.10) [8, с. 351].

#### 5.4.4 Структура базы исходных данных

Структуру базы исходных данных к задаче (5.10) удобно представить в виде следующих массивов информации:

ИД-1 – массив ориентирован на определение функции  $f(l_{ij})$  (таблица 5.12);

ИД-2 – массив ориентирован на методику оптимизации  $l_{БД}$  (таблица 5.13);

ИД-3 – массив ориентирован на определение величины  $M$ , который формируется по данным паспортов вагонных депо (таблица 5.14);

ИД-4 – массив ориентирован на определение  $\Pi(l_{ij})$  (таблица 5.1).

Среднее время оборота полувагона – время полного производственного цикла его работы, измеряемое от начала одной его загрузки до начала следующей. В этот цикл входит время загрузки полувагона, формирование поезда, следование полувагона в составе поезда к месту выгрузки, простоя на участковых и сортировочных станциях и под выгрузкой на станции назначения груза, а в ряде случаев – время на передвижение в составе поезда в порожнем состоянии к месту новой загрузки.

Время оборота в большой степени зависит от груженого рейса и доли пробега порожнего вагона. На величину оборота известное влияние оказывают время нахождения вагонов на технических станциях и под грузовыми операциями, в том числе простой вагонов на подъездных путях, скорость движения и др. На эти факторы, в свою очередь, влияет организация эксплуатационной работы по продвижению вагонопотоков и формированию поездов, эксплуатации локомотивов, пунктов технического осмотра вагонов. Поэтому оборот вагона – универсальный показатель. Он охватывает все стороны деятельности железных дорог, следовательно, от согласованности работы всех хозяйств дорог во многом зависит его ускорение. Сокращение оборота вагона позволяет уменьшить потребный рабочий парк для выполнения

заданного объема перевозок или за счет этого парка осуществить дополнительные перевозки. На уровень оборота вагона существенное влияние оказывает величина полного рейса, с его увеличением возрастает и среднее время оборота. Основные меры по сокращению полного рейса – исключение встречных потоков взаимозаменяемых типов порожних вагонов, а также излишне дальних объемов перевозок. Размещение производства и потребления, сырьевых источников и пунктов переработки влияют на уровень порожнего пробега. В связи с этим из районов с преобладанием выгрузки приходится направлять порожние вагоны в районы, где вывоз больше ввоза, то есть погрузка не обеспечивается собственными вагонами из-под выгрузки.

Данные о мощности ремонтной базы хранятся в паспортах депо, которые хранятся в департаменте вагонного хозяйства. Конкретные данные по парку полувагонов приведены в таблице 5.14.

Таблица 5.12

Стоимостные показатели и нормированные значения параметров эксплуатации

| Наименование                                                       | Обозначение   | Значение | Размерность |
|--------------------------------------------------------------------|---------------|----------|-------------|
| Покупная цена полувагона [52]                                      | $S$           | 1750000  | руб.        |
| Ликвидная цена полувагона [53]                                     | $Q$           | 80000    | руб.        |
| Норматив затрат на ДР [54]                                         | $R_{ДР}$      | 107000   | руб.        |
| Норматив затрат на КР [55]                                         | $R_{КР}$      | 171000   | руб.        |
| Норматив затрат на ТР-2 [56]                                       | $R_{ТР}$      | 26500    | руб.        |
| Издержки других хозяйств (кроме ВХ) за срок службы полувагона [57] | $D$           | 54000    | руб.        |
| Коэффициент технологического запаса мощности ремонтного хозяйства  | $\alpha$      | 1,2      | -           |
| Параметр безопасности (безотказности) вагона                       | $l_{БД}$      | 17       | мес.        |
| Протяженность гарантийного участка ПТО [58]                        | $l_{ГУ}$      | 107      | км          |
| Оборот полувагона [59]                                             | $l_{об}$      | 12,6     | сут.        |
| Мощность ремонтного хозяйства                                      | $M$           | 120 000  | ваг./год    |
| Коэффициент точности определения потребности в ДР полувагонов      | $\varepsilon$ | 0,1      | -           |

Таблица 5.13

## Показатели надежности полувагонов в эксплуатации

| № | Наименование                                                                                                                                                                                                                              |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Функция распределения наработки вагона для обнаружения опасного отказа $Q(t)$ , последствия которого не гуманно компенсировать лишь в денежном выражении. Это те отказы вагона, за которыми немедленно может последовать крушение поезда. |
| 2 | Функция распределения продолжительности периода между моментами появления и обнаружения опасного отказа $\Phi(t)$                                                                                                                         |
| 3 | Среднестатистические затраты времени на различные виды ремонта                                                                                                                                                                            |

Таблица 5.14

## Перечень и мощность вагоноремонтных депо

| №  | Наименование депо | Дорога            | Заявленная мощность депо (ваг/год) |
|----|-------------------|-------------------|------------------------------------|
| 1  | Аскиз             | Красноярская      | 3120                               |
| 2  | Белогорск         | Забайкальская     | 3050                               |
| 3  | Белово            | Западно-Сибирская | 3000                               |
| 4  | Барабинск         | Октябрьская       | 3150                               |
| 5  | Бердяуш           | Октябрьская       | 3180                               |
| 6  | Бобрик-Донской    | Московская        | 3250                               |
| 7  | Вязьма            | Московская        | 3020                               |
| 8  | Гороблагodatная   | Западно-Сибирская | 3000                               |
| 9  | Зуевка            | Горьковская       | 3000                               |
| 10 | Грязи             | Юго-Восточная     | 3100                               |
| 11 | Кемь              | Октябрьская       | 3200                               |
| 12 | Кандалакша        | Октябрьская       | 3050                               |
| 13 | Курск             | Московская        | 3350                               |
| 14 | Красноуфимск      | Горьковская       | 3300                               |
| 15 | Каменоломня       | Северо-Кавказская | 3120                               |
| 16 | Каменск-Уральский | Свердловская      | 3280                               |
| 17 | Курган            | Московская        | 3200                               |
| 18 | Кемерово          | Западно-Сибирская | 3200                               |
| 19 | Люблино           | Московская        | 3150                               |
| 20 | Лосиноостровская  | Московская        | 3200                               |
| 21 | Льгов             | Московская        | 3400                               |
| 22 | Лянгасово         | Горьковская       | 3140                               |
| 23 | Лихая             | Северо-Кавказская | 3200                               |
| 24 | Морозовская       | Западно-Сибирская | 3310                               |
| 25 | Магнитогорск      | Южно-Уральская    | 3080                               |
| 26 | Ожерелье          | Московская        | 3200                               |

| №              | Наименование депо | Дорога             | Заявленная мощность депо (ваг/год) |
|----------------|-------------------|--------------------|------------------------------------|
| 27             | Пермь             | Свердловская       | 2900                               |
| 28             | Прокопьевск       | Западно-Сибирская  | 2950                               |
| 29             | Петербург         | Октябрьская        | 3120                               |
| 30             | Тайга             | Восточно-Сибирская | 3100                               |
| 31             | Узловая           | Московская         | 3180                               |
| 32             | Уфалей            | Южно-Уральская     | 3350                               |
| 33             | Уссурийск         | Дальневосточная    | 3100                               |
| 34             | Челябинск         | Южно-Уральская     | 3400                               |
| 35             | Череповец         | Северная           | 3060                               |
| 36             | Чернышевск        | Забайкальская      | 3240                               |
| 37             | Черемхово         | Западно-Сибирская  | 3350                               |
| 38             | Юбилейное         | Северо-Кавказская  | 3000                               |
| Всего по сети: |                   |                    | 120 000                            |

Возрастной состав вагонов по данным ГВЦ ОАО «РЖД» представлен в таблице 5.1. Издержки основных хозяйств ОАО «РЖД» (кроме вагонного), приведены в таблице 5.15. Необходимые данные для оценки затрат хозяйств ОАО «РЖД» входят в число показателей работы транспорта и отражены в ежегодной отчетности.

Таблица 5.15

Издержки основных хозяйств на 2000 г., млн.руб.

| Хозяйства | Перевозок | Локомотивное | Пути    | СЦБ    | Энергетики | НГЧ  | Прочие  |
|-----------|-----------|--------------|---------|--------|------------|------|---------|
| Затраты   | 6556,2    | 54589,8      | 50289,7 | 8462,6 | 7092,6     | 4166 | 16740,4 |

Всего издержек 147897,3 млн. руб.

#### 5.4.5 Целевая функция и обоснование ее минимума

С помощью задачи (5.10) необходимо выбрать оптимальную структуру системы TOP полувагонов и ее параметры. В качестве целевой функции выбрано математическое выражение себестоимости работы вагона. Составляющими целевой функции являются расходы:

- на капитальный ремонт;
- на деповской ремонт;
- на приобретение и утилизацию вагона;
- на текущие ремонты,
- на техническое обслуживание;
- на подготовку вагонов к перевозкам;
- на функционирование других хозяйств отрасли.

Удельные расходы на текущие ремонты, техническое обслуживание и подготовку вагонов возрастают во времени. Удельные расходы на проведение плановых ремонтов убывают в соответствующих периодах эксплуатации.

Указанные затраты определяются темпом деградации конструкции, на который в свою очередь влияют параметры существующих технологий и организации ремонтных работ, квалификация работников и т. п. Кроме того, на себестоимость единицы пробега влияет фактор, не зависящий от темпа износа конструкции – балластные работы, неизбежные при плановых ремонтах крупного объема. В объеме КР и ДР они составляют 60-70 %. К ним относятся разборка, сборка, очистка, промывка, дефектовка, просушка, окраска, контроль технического состояния и т. п. Темп деградации конструкции влияет на себестоимость единицы пробега вагона через затраты на ремонты. Кроме того, темп деградации влияет на себестоимость единицы пробега и через так называемую выработку вагона, которая изменяется по мере износа конструкции.

*Удельные расходы на амортизацию стоимости*

Удельные расходы на амортизацию (восстановление) стоимости вагона необходимы для того, чтобы в течение срока службы конструкции можно было постепенно возместить его стоимость. Другими словами, по окончании назначенного срока службы вагона накопленных средств должно быть достаточно для покупки нового вагона аналогичной конструкции. Размер амортизационных отчислений обычно определяют исходя из единого установленного нормативного срока службы, который для изделий тяжёлого машиностроения составляет 20 лет. Однако оптимальное значение срока службы (поиск которого является целью оптимизации) может не совпадать с нормативным. Поэтому размер отчислений на амортизацию необходимо определять с учётом цены вагона и расчётного срока службы.

При определении размера амортизационных отчислений дополнительно учитывают затраты, необходимые на разделку и последующую утилизацию отработавшей конструкции. Особое значение эта составляющая имеет для рефрижераторных вагонов и вагонов с кузовом из различного вида пластмасс, поскольку для их разделки и утилизации требуются наибольшие расходы.

Кроме того, необходимо учесть, что конструкция на момент окончания срока службы имеет некоторую стоимость, которую называют остаточной. Эта стоимость складывается из стоимости деталей, узлов, агрегатов, которые можно повторно использовать при ремонте других вагонов, а также стоимости материалов, пригодных для вторичного использования (например, металлолома). Получая доход от продажи запасных частей и металлолома отработавшей конструкции, можно уменьшить размер амортизационных отчислений. Наибольшую величину имеет остаточная стоимость для вагонов из дорогостоящих материалов, например с кузовами из алюминиевых сплавов.

Таким образом, математическое выражение для определения удельных расходов на амортизацию стоимости вагона в зависимости от его срока службы имеет вид [60, с. 7]:

$$f_Q = \frac{S + (Q_1 - Q_2)}{L}, \quad (5.11)$$

где  $S$  – цена вагона;

$Q_1$  – единовременные расходы на разделку и утилизацию вагона;

$Q_2$  – единовременные доходы от списания вагона;

$(Q_1 - Q_2)$  – ликвидная стоимость вагона;

$L$  – срок службы вагона, который необходимо определить.

Очевидно чем больше срок службы вагона, тем меньше величина удельных расходов на амортизацию его стоимости (рисунок 5.12).



Рисунок 5.12 – Удельные расходы на амортизацию стоимости вагона в зависимости от срока службы

#### *Удельные расходы на капитальные ремонты*

Для выполнения КР требуются единовременные расходы, размер которых по своей величине, как правило, сопоставим с ценой вагона. Эти затраты, как и затраты на закупку вагона, возвращаются в процессе эксплуатации за счёт включения в СЕП амортизационных отчислений на КР. Обычно эти отчисления закладывают как равновеликие величины (не изменяемые во времени) исходя

из нормативной стоимости ремонта и регламентированной величины продления срока службы после ремонта. При таком упрощённом подходе не учитываются фактические затраты на ремонты и фактические сроки службы вагона. В действительности затраты на КР меняются от одного ремонта к другому, что зависит от степени износа вагона на момент начала ремонта и объёма необходимых восстановительных работ. Так, по данным ВНИИЖТа стоимость второго КР грузового вагона в 2-3 раза превышает стоимость первого. Кроме того, может различаться и степень восстановления ресурса вагона при ремонте, которая определяет величину планируемого продления срока службы (последующего цикла). Поэтому при оптимизации межремонтных периодов, циклов и срока службы в СЕП нельзя закладывать постоянную величину амортизационных отчислений на КР, не зависящую от фактического срока службы вагона.

Размер удельных расходов на КР, включаемых в СЕП работы вагона, будем определять в пределах каждого из ремонтных циклов аналогично удельным расходам на амортизацию как отношение фактических затрат на КР к ожидаемой (планируемой) продолжительности последующего ремонтного цикла (рисунок 5.13, а) [60, с. 10]:

$$f_{KP_i} = \frac{R_{KP_i}}{L_{i+1}}, \quad (5.12)$$

где  $R_{KP_i}$  – затраты на  $i$ -й КР;

$L_{i+1}$  – продолжительность  $(i+1)$ -го ремонтного цикла.

С проведения КР начинается ремонтный цикл. Расходы на КР должны быть возвращены в течение последующего периода эффективной эксплуатации вагона до следующего ПР, то есть последующего ремонтного цикла. В первом ремонте (продолжительностью –  $L_1$ ) удельные затраты на КР равны 0, поскольку используется ресурс, заложенный при изготовлении вагона. Во втором цикле чем больше срок работы до следующего КР, тем меньше

величина амортизационных отчислений в течение этого цикла. Это справедливо и для всех последующих ремонтных циклов.

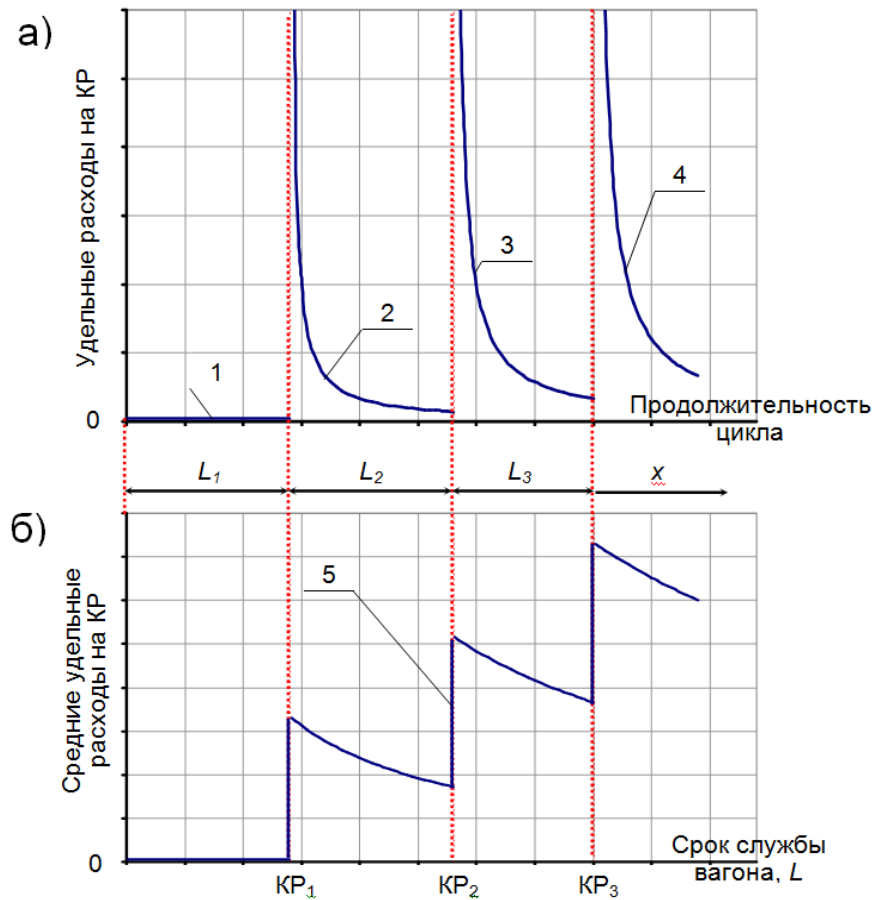


Рисунок 5.13 – Изменение расходов на капитальные ремонты:

а) – удельные расходы в зависимости от продолжительности ремонтного цикла;

б) – средние удельные расходы в зависимости от срока службы;

1 – изменение удельных расходов на КР в первом цикле;

2 – изменение удельных расходов на КР во втором цикле;

3 – изменение удельных расходов на КР в третьем цикле;

4 – изменение удельных расходов на КР в четвёртом цикле;

5 – изменение средних удельных расходов на КР

Рассмотрим, как изменяются средние удельные расходы на запланированные КР в зависимости от срока службы вагона (суммарной продолжительности ремонтных циклов). Если для вагона не планировать проведение КР, то в этом случае средние удельные затраты на КР равны нулю, независимо от продолжительности срока службы. Если запланировать проведение одного КР, то средние удельные затраты на КР будут определяться как отношение капитальных вложений на КР к величине срока службы (суммарной продолжительности первого цикла и планируемого времени работы вагона после ремонта, то есть второго цикла) [60, с. 10]:

$$f_{KP}(L_1 + x) = \frac{R_{KP1}}{L_1 + x}, \quad x \in [0, L_2), \quad (5.13)$$

где  $R_{KP1}$  – расходы на проведение 1-го КР;

$x$  – продолжительность второго ремонтного цикла;

$L_1$  – продолжительность первого ремонтного цикла;

$L_1 + x$  – срок службы вагона.

Для запланированных по системе ТОР  $n$  ремонтных циклов величину средних удельных расходов на КР за срок службы вагона определяют как отношение суммарных планируемых расходов на КР к величине ожидаемого срока службы [60, с. 12]:

$$f_{KP}(L) = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} R_i}{\sum_{i=1}^{n-1} L_i + x}, \quad x \in [0, L_n), \quad (5.14)$$

где  $\sum_{i=1}^{n-1} R_i$  – суммарные расходы на запланированные КР за срок службы вагона;

$R_i$  – затраты на  $i$ -й КР;

$n-1$  – количество планируемых КР в системе ТОР;

$n$  – количество ремонтных циклов;

$$\sum_{i=1}^{n-1} L_i + x - \text{срок службы вагона};$$

$L_i$  – величина  $i$ -го межремонтного цикла;

$x$  – продолжительность последнего ( $n$ -го) ремонтного цикла.

График средних удельных расходов на выполнение КР в зависимости от срока службы вагона (рисунок 5.13, б) имеет конечные разрывы на границах ремонтных циклов. Величина разрыва пропорциональна затратам на соответствующий КР. Кроме того, при увеличении количества ремонтных циклов величина средних удельных расходов на КР растёт, несмотря на увеличение срока службы.

#### *Удельные расходы на деповские ремонты*

Деповские ремонты относят к ремонтам крупного объема, выполнение которых планируется аналогично КР. Целью деповского ремонта является восстановление исправного и работоспособного состояния вагона, а также частичного восстановления его ресурса, путём замены или ремонта наиболее ответственных элементов (буксовых узлов, колёсных пар, пневматических приборов автоматических тормозов и т. п.).

Величину удельных расходов на ДР обычно считают постоянной и определяют по нормативным значениям. Однако такой подход нельзя использовать при решении задачи оптимизации межремонтных периодов и срока службы вагона. Размер удельных расходов на ДР в пределах каждого межремонтного периода должен определяться исходя из фактических расходов на каждый ДР и величины последующих межремонтных периодов:

$$f_{\text{ДР}}(l_{j+1}) = \frac{R_{\text{ДР}j}}{l_{j+1}}, \quad (5.15)$$

где  $R_{\text{ДР}j}$  – затраты на  $j$ -й ДР;

$l_{j+1}$  – продолжительность  $(j+1)$ -го межремонтного периода.

Восстановленный при ДР ресурс элементов вагона расходуется в последующий период работы. Поэтому средства на его проведение должны быть возвращены до проведения следующего ДР. Чем продолжительней период времени до следующего ДР, тем меньше удельные затраты на ДР (рисунок 5.14, а). В течение всего первого межремонтного периода величина удельных затрат на ДР равна 0, поскольку в этот период используется ресурс, заложенный в новом вагоне. Аналогично после каждого КР удельные расходы на ДР также равны нулю, поскольку в этот период расходуется ресурс, восстановленный при КР.

Рассмотрим теперь, каким образом изменяются средние удельные расходы на проведение ДР в зависимости от общего срока службы вагона. Величина средних удельных расходов на ДР определяется отношением суммы стоимостей всех запланированных ДР к сроку службы вагона [60, с. 14]:

$$f_{ДР}(L) = \frac{\sum_{j=1}^n R_{ДРj}}{\sum_{k=1}^n l_k + x}, \quad x \in [0, l_{n+1}), \quad (5.16)$$

где  $R_{ДРj}$  – затраты на  $j$ -й ДР;

$\sum_{k=1}^n l_k + x$  – срок службы вагона;

$n$  – структура системы ТОР (количество ДР, запланированных по системе ТОР, за срок службы вагона);

$x$  – продолжительность последнего  $(n+1)$ -го периода;

$l_k$  – величина  $k$ -го межремонтного периода;

$n+1$  – количество межремонтных периодов в системе ТОР.

Функция изменения средних удельных расходов на ДР в зависимости от срока службы вагона (рисунок 5.14, б) является кусочно-непрерывной. Величина разрывов функции на границах ремонтных циклов пропорциональна затратам на соответствующий ДР.

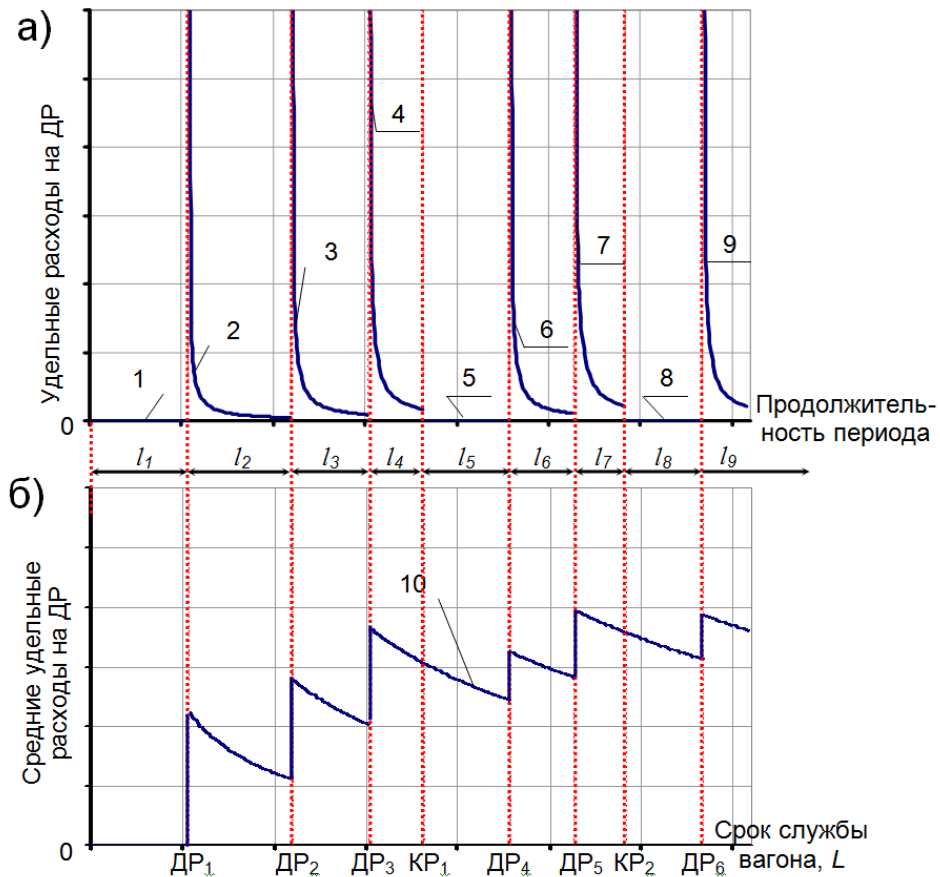


Рисунок 5.14 – Изменение удельных расходов на деповские ремонты:

- а) – удельные расходы в зависимости от продолжительности межремонтного периода;
- б) – средние удельные расходы в зависимости от срока службы;
- 1, 2, 3...9 – изменение удельных расходов на ДР в 1, 2, 3...9 периоде;
- 10 – изменение средних удельных расходов на ДР

#### *Удельные расходы на техническое обслуживание и текущие ремонты*

Хотя техническое обслуживание и текущий ремонт вагонов различаются по своему назначению и стратегии проведения, на практике эти работы стараются максимально совместить. Это не позволяет разграничить расходы на их проведение. Затраты на выполнение технического обслуживания и ТР имеют дискретный характер, то есть изменяются неравномерно во времени. В течение пробега, соответствующего гарантийному плечу ПТО (который составляет 200-

400 км), расходы на техническое обслуживание и ТР остаются неизменными и ступенчато (скачкообразно) возрастают во время проведения работ по техническому обслуживанию и ТР на ПТО. При ТР восстанавливают работоспособность лишь отдельных деталей и узлов, которые являются контролепригодными и легкоъемными в условиях эксплуатации.

Как правило, расходы на проведение технического обслуживания и ТР относительно невелики по сравнению со стоимостью ПР, а промежутки между их проведением незначительны по сравнению с периодичностью, например ДР, которая составляет порядка 160 тыс. км. Поэтому для решения практических задач функцию изменения расходов на техническое обслуживание и ТР считают непрерывной и монотонно возрастающей без скачков и разрывов. В пределах межремонтного периода (между ПР) суммарные расходы на техническое обслуживание и ТР возрастают нелинейно [60, с. 16]:

$$R_{TP} = a \cdot l + b \cdot l^2, \quad (5.17)$$

где  $a$  и  $b$  – параметры роста расходов на техническое обслуживание и ТР – экспериментально определяемые оценки коэффициентов регрессии квадратной функции;

$l$  – наработка (пробег) вагона.

Такой подход основан на том, что с течением времени в конструкции вагона накапливаются повреждения, растёт поток отказов деталей и узлов, увеличивается частота внеплановых ремонтов. Как следствие, интенсивно возрастают расходы на выполнение технического обслуживания и ТР. Интенсивность их роста увеличивается в пределах межремонтного периода. При этом допустимо считать, что удельные расходы на техническое обслуживание и ТР вагона в пределах межремонтного периода возрастают линейно [60, с. 16]:

$$f_{TP}(l) = \frac{R_{TP}}{l} = a + b \cdot l. \quad (5.18)$$

Такая тенденция существует в каждом межремонтном периоде (рисунок 5.15, а). Чем больше времени прошло с момента проведения ПР, тем выше удельные расходы на техническое обслуживание и ТР.

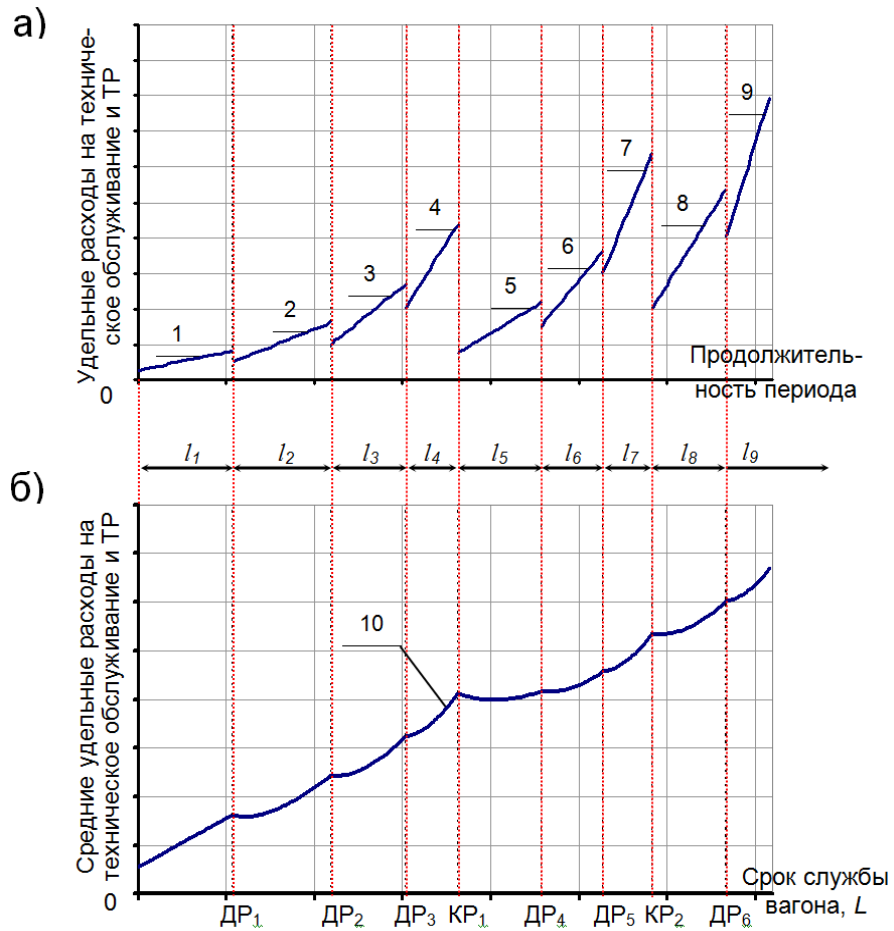


Рисунок 5.15 – Изменение удельных расходов на техническое обслуживание и текущие ремонты:

а) – удельные расходы в зависимости от продолжительности межремонтного периода;

б) – средние удельные расходы в зависимости от срока службы;

1, 2, 3...9 – изменение удельных расходов на ТР в 1, 2, 3...9 периоде;

10 – изменение средних удельных расходов на ТР

После проведения ПР, при котором восстанавливают ресурс всего вагона (восстанавливают размеры различных деталей до альбомных значений), удельные расходы на проведение технического обслуживания и ТР сокращаются. Чем выше степень восстановления ресурса вагона при ПР, тем больше это сокращение и тем больше разница между текущими расходами до и после ПР (скачок расходов). Например, степень восстановления ресурса при КР значительно больше по сравнению с ДР, поэтому и скачок расходов на техническое обслуживание и ТР вагона больше после КР. Поскольку даже при КР практически невозможно восстановить ресурс вагона на 100 %, то и удельные расходы после КР выше, чем для нового вагона, и возрастают более интенсивно.

Таким образом, после проведения очередного ПР удельные затраты на техническое обслуживание и ТР резко снижаются и монотонно возрастают по мере увеличения пробега после ремонта. Интенсивность их роста изменяется (растёт) от одного межремонтного периода к другому и зависит от степени восстановления ресурса вагона при ПР.

Средние удельные расходы на техническое обслуживание и ТР вагона (рисунок 5.15, б) определяются отношением суммарных расходов на их проведение в течение всего срока службы к величине этого срока. Математическое выражение имеет вид [60, с. 18]:

$$f_{TP} = \frac{\left[ \sum_{k=1}^n a_k l_k + b_k l_k^2 \right] + a_{n+1}x + b_{n+1}x^2}{\sum_{k=1}^n l_k + x}, \quad x \in [0, l_{n+1}), \quad (5.19)$$

где  $a_k, b_k$  – параметры роста затрат на техническое обслуживание и ТР вагона в  $k$ -м межремонтном периоде;

$n$  – структура системы ТОР (количество ДР, запланированных по системе ТОР, за срок службы вагона);

$n+1$  – количество межремонтных периодов в системе ТОР;

$\sum_{k=1}^{n+1} l_k + x$  – срок службы вагона;

$l_k$  – продолжительность  $k$ -го межремонтного периода, величины которых и требуется определить;

$x$  – продолжительность последнего  $(n+1)$ -го периода.

#### *Удельные расходы других хозяйств*

При определении СЕП работы вагона необходимо учитывать расходы других хозяйств, организующих, выполняющих и обеспечивающих перевозочный процесс. Обозначим через  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  и  $d_4$  издержки за срок службы вагона хозяйств соответственно локомотивного, путевого, грузового движения и хозяйства сигнализации, централизации, блокировки и связи.

Тогда средние удельные расходы других хозяйств в зависимости от срока службы вагона определяются [60, с. 19]:

$$f_x = \frac{\sum_{i=1}^H d_i}{L}, \quad (5.20)$$

где  $d_i$  – суммарные издержки за срок службы вагона  $i$ -го хозяйства;

$H$  – количество хозяйств;

$L$  – срок службы вагона.

#### *Математическое выражение себестоимости единицы пробега*

Ранее были рассмотрены отдельные составляющие себестоимости единицы пробега (СЕП) вагона и динамика их изменения в пределах межремонтного периода, ремонтного цикла и полного срока службы. Выпишем математическое выражение целевой функции нашей оптимизационной задачи – выражение СЕП вагона как функции срока службы [60, с. 19]:

$$f(L) = f_Q(L) + f_{KP}(L) + f_{ДР}(L) + f_{ТР}(L) + f_X(L); \quad (5.21)$$

$$f(L) = \frac{S + (Q_1 - Q_2) + \sum_{i=1}^{m-1} R_{KP_i} + \sum_{j=1}^n R_{ДР_j} + \sum_{k=1}^{n+1} (a_k l_k + b_k l_k^2) + \sum_{h=1}^H d_h}{\sum_{k=1}^{n+1} l_k}, \quad (5.22)$$

где  $S$  – цена вагона;

$Q_1$  – единовременные расходы на разделку и утилизацию вагона;

$Q_2$  – единовременные доходы от списания вагона;

$R_{ДР_j}$  – затраты на  $j$ -й ДР;

$R_{KP_i}$  – затраты на  $i$ -й КР;

$a_k$  и  $b_k$  – параметры роста расходов на техническое обслуживание и ТР в  $k$ -м периоде;

$d_h$  – суммарные издержки за срок службы вагона  $i$ -го хозяйства;

$m$  – количество ремонтных циклов в течение срока службы вагона;

$m-1$  – количество КР по плану за срок службы вагона;

$n$  – структура системы ТОР (количество ДР, запланированных по системе ТОР, за срок службы вагона);

$n+1$  – количество межремонтных периодов по плану в системе ТОР;

$L = \sum_{k=1}^{n+1} l_k$  – срок службы вагона.

Не все рассмотренные составляющие СЕП являются непрерывными функциями, некоторые имеют разрывы первого рода. Прежде чем воспользоваться необходимым условием экстремума целевой функции при определении оптимальных межремонтных периодов и срока службы вагона, необходимо доказать существование глобального минимума функции  $f(L)$ . Покажем, что минимум существует с помощью графических построений (рисунок 5.16).

В пределах межремонтного периода все составляющие функции являются убывающими, за исключением кривой удельных расходов на обслуживание и ТР. Функция средних удельных расходов на КР, хотя и является убывающей в пределах ремонтных циклов, но ступенчато возрастает от одного цикла к другому, то есть с увеличением количества ремонтных циклов средние удельные расходы на КР растут. Аналогично изменяются и средние удельные расходы на ДР, то есть с увеличением количества межремонтных периодов в системе ТОР растут и удельные расходы.

Существование возрастающих и убывающих функций в выражении СЕП обуславливает существование минимального значения целевой функции (СЕП), что и показано на рисунке 5.16 с помощью графического суммирования (сложения графиков).

Как видно из рисунка 5.16, глобальный минимум целевой функции СЕП вагона достигается в момент окончания второго ремонтного цикла. Таким образом существует правило: срок службы вагона, для которого СЕП имеет наименьшее значение, всегда будет состоять из целого числа ремонтных циклов.

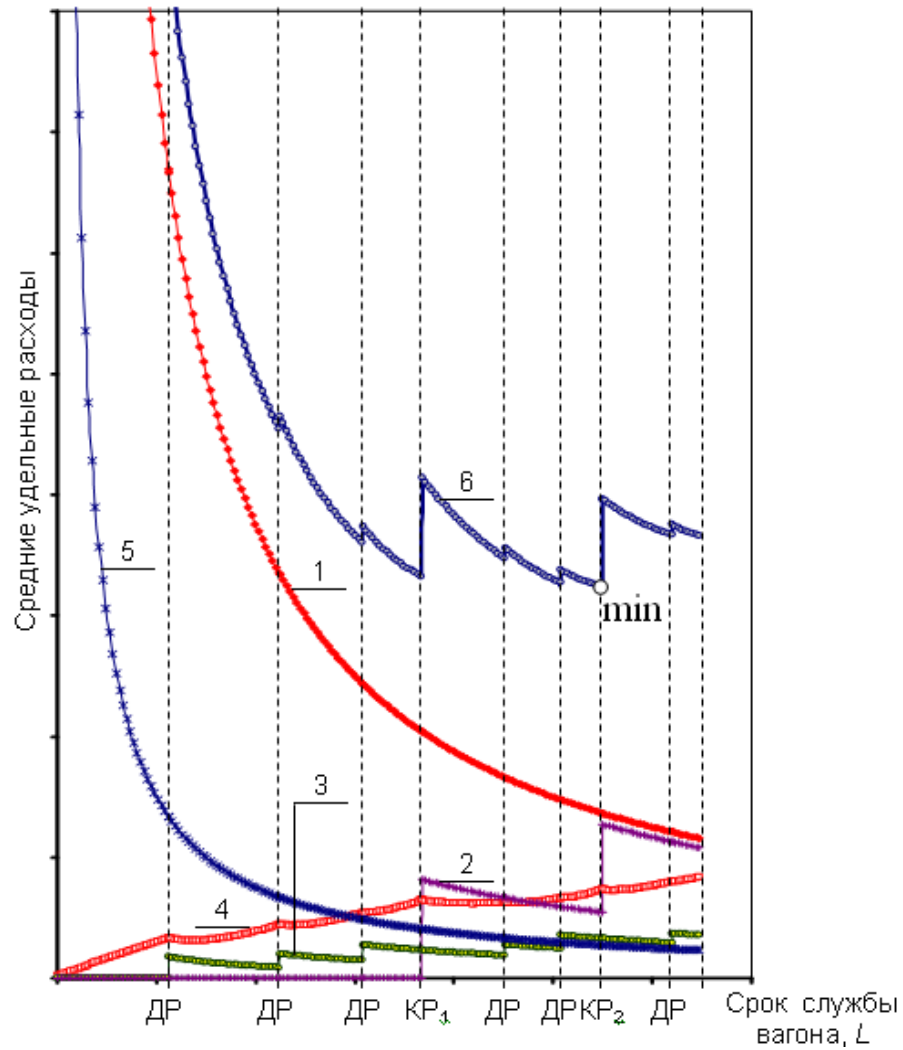


Рисунок 5.16 – Изменение составляющих функции СЕП вагона в зависимости от срока службы вагона:

- 1 – удельные расходы на амортизацию стоимости вагона;
- 2 – средние удельные расходы на КР;
- 3 – средние удельные расходы на ДР;
- 4 – средние удельные расходы на обслуживание и ТР;
- 5 – средние удельные расходы других хозяйств;
- 6 – СЕП – общие удельные расходы

#### 5.4.6 Методика расчета потребности в плановых ремонтах

Функция  $\Pi(l_{ij})$  зависит от принятой системы ремонта и срока службы вагона, то есть от матрицы  $(l_{ij})$ , размер которой соответствует структуре системы ремонта. Сама функция  $\Pi(l_{ij})$  трактуется как количество вагонов рассматриваемого типа, нуждающихся в зависимости от принятой стратегии либо в ДР, либо в плановом ремонте, либо в глубокой диагностике.

Настоящая задача решается при предположении, что изготовление вагонов и их приобретение осуществляется равномерно в пределах календарного года. Определение потребности в ремонтах многократно повторяются для каждой анализируемой структуры системы ТОР. Для этого методика алгоритмизирована. Алгоритм реализуем в виде расчета потребности в ДР и КР по формулам [61]:

$$\Pi^{ДР}(l_1, l_2, \dots, l_n) = \sum_n M_n^{ДР} \cdot H_n; \quad (5.23)$$

$$\Pi^{КР}(l_1, l_2, \dots, l_n) = \sum_n M_n^{КР} \cdot H_n, \quad (5.24)$$

где  $H_n$  – количество вагонов в  $n$ -ой возрастной группе;

$M_n^{ДР} = \sum_n m_n^{(j)}$  – доля вагонов  $n$ -й возрастной группы, которую следует

отправить в ДР в течение интересующего года.

$$m_{nj} = \begin{cases} 0, \text{ если } \varphi_{nj} \geq 24 \\ 2 - \frac{\varphi_{nj}}{12}, \text{ если } 12 < \varphi_{nj} < 24 \\ \frac{\varphi_{nj}}{12}, \text{ если } \varphi_{nj} \leq 12. \end{cases}, \quad (5.25)$$

где  $\varphi_{nj}$  определяется по формуле [62]

$$\varphi_{nj} = \Delta n - \sum_{i=1}^{knj} l_{in}. \quad (5.26)$$

Под знаком суммирования находятся только те пробеги  $l_i^{(n)}$ , которые завершают ДР. Остальные пробеги используются для определения  $M_n^{KP}$  – доли вагонов  $n$ -й возрастной группы, которую следует отправить в КР в течение интересующего нас календарного года [63]:

$$m_{nj} = \begin{cases} 0, \text{ если } \varphi_{n(m_k+1)} \geq 24 \\ 2 - \frac{\varphi_{n(m_k+1)}}{12}, \text{ если } 12 < \varphi_{n(m_k+1)} < 24 \\ \frac{\varphi_{n(m_k+1)}}{12}, \text{ если } \varphi_{n(m_k+1)} \geq 12 \end{cases} \quad (5.27)$$

где  $m_k$  – структура  $k$ -го ремонтного цикла. Последние два выражения связаны соотношением

$$Kn^j = m_k + 1. \quad (5.28)$$

При этом  $m_k$  определяется из условия:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{m_k} l_i^{(n)} < \Delta_n < \sum_{i=1}^{m_k+1} l_i^{(n)} \\ l_{m+1}^{(n)} \leq 12. \end{cases} \quad (5.29)$$

Причем, если  $l_{m_k+1}^{(n)} > 12$ , то  $M_n^{KP} = 0$ . Здесь

$$\Delta n = (t_{\text{рем}} - t_{\text{вс}}^n) / 12, \quad (5.30)$$

где  $t_{\text{рем}}$  – конец интересующего нас календарного года (например 2009 г.), в течение которого планируется ремонт вагонов;

$t_{изг}^n$  – начало года изготовления вагонов  $n$ -й возрастной группы;

$li^n$  –  $i$ -й межремонтный пробег  $n$ -й возрастной группы.

Для определения значений  $k_{nj}$ , входящих в выражение (5.26), где  $j = (\overline{1, u})$ , представим их в виде последовательности членов арифметической прогрессии, с разностью, равной единице:

$$K^{(1)}n, K^{(2)}n, \dots, K^{(u)}n. \quad (5.31)$$

В этом случае достаточно определить лишь два крайних члена данной последовательности. Значение  $Kn^{(u)}$  определяется из условия

$$\max \sum_{i=1}^{Kn^{(u)}} li^{(n)} \leq \Delta n. \quad (5.32)$$

Первый элемент последовательности удовлетворяет соотношению

$$K^{(1)}n = K^{(t)}n + 1, \quad (5.33)$$

где  $Kn^{(t)}$  определяется из условия:

$$\max \sum_{i=1}^{Kn^{(u)}} li^{(n)} \leq \Delta n - 24. \quad (5.34)$$

Причем, если  $Kn^{(u)} - Kn^{(t)} \leq 1$ , то  $Kn^{(1)} = Kn^{(u)}$ .

Приведенная методика имеет большое самостоятельное практическое значение. В самом деле, представляется возможным любой системе ремонта и любому типу вагонов с его сложившимся возрастным составом быстро спрогнозировать количество вагонов, которое следует отправить в ремонт в течение любого заданного календарного года.

### 5.4.7 Алгоритм оптимизации системы ТОР

1. По методике, приведенной в разделе 5.1, определяется оптимальное значение параметра  $l_{БД}$  полувагона.
2. Формируется множество  $\Omega$  альтернативных, не противоречащих здравому смыслу, структур системы ремонта, элементами которых являются матрицы, правда, определенной конфигурации, а именно трапецеидального типа. Такая форма матрицы объясняется постепенным накоплением тех повреждений, которые не полностью устраняются даже при КР. Поэтому по мере старения вагона надо в интересах БД чаще производить глубокую диагностику, а стало быть, и ДР. Из-за этого структура каждого последующего ремонтного цикла должна быть больше предыдущего.
3. Для каждой  $i$ -й структуры (обозначим ее  $\omega \in \Omega$ ) находятся экономически наиболее выгодные пробеги  $l_k^{\vartheta}$  между плановыми либо ДР (ГД).
4. Используя правило

$$l_k = \min(l_k^{\vartheta}, l_{БД}), (k=1, N), \quad (5.35)$$

для каждой структуры системы ремонта, входящей во множество  $\Omega$ , корректируются экономически целесообразные пробеги согласно требованиям безопасности движения. Здесь  $N$  – суммарное число пробегов между ремонтами или ГД за срок службы вагона. Понятно, что эта величина не одинаковая для различных структур:

$$N = \sum_{j=1}^{n+1} m_j + n + 1, \quad (5.36)$$

где  $n$  – число КР, соответствующее рассматриваемой структуре;

$m_i$  – структура  $i$ -го ремонтного цикла рассматриваемой структуры системы ремонта.

5. Для каждой откорректированной таким образом системы ремонта рассчитывается себестоимость единицы пробега. Затем из множества откорректированных систем ремонта выделяется та, для которой себестоимость единицы пробега вагона принимает наименьшее значение. Эту систему ремонта (обозначим ее через  $\omega^3$ ) подвергаем дальнейшему анализу.

6. Применительно к системе  $\omega^3$  рассчитываем потребность (в зависимости от принятой стратегии ДР) либо в ДР, либо в ГД парка полувагонов для 2011 г.

7. Проверяется система ремонта  $\omega^3$  на предмет удовлетворения условию (5.11). Если оно выполняется, то выделенная система ремонта является искомой, то есть оптимальной. Если же указанное условие не выполняется, то система ремонта  $\omega^3$  не соответствует возможностям вагонного хозяйства. Надо либо менять условия эксплуатации, либо приобретать более надежные вагоны (их цена будет выше), либо совершенствовать ремонтную базу (увеличивать ее мощность  $M$ ) и т. п. Алгоритм оптимизационной задачи представлен на рисунке 5.17.

Алгоритм решения будет упрощен. Во-первых, путем представления  $f(l_{ij})$  и  $P(l_{ij})$  в виде функций скалярных аргументов. Во-вторых, скалярные функции определены на ограниченном множестве структур системы ремонта полувагонов. Итак, множество  $(l_{ij})$ , на котором определена наша оптимизационная задача, принимается ограниченным. В него включаются не противоречащие здравому смыслу структуры системы ремонта. На этом усеченном множестве с помощью алгоритма, приведенного выше, находится та структура, которой соответствует минимальная себестоимость единицы пробега полувагона. Однако нет полной уверенности, что среди отброшенных, не включенных структур нет такой, которой соответствует еще меньшее значение СЕП полувагона. Поэтому с помощью алгоритма находится не оптимальная, а так называемая  $\varepsilon$ -оптимальная система ремонта, то есть оптимальная в той степени, в какой не подводит нас опыт и интуиция, на которых базируется упомянутый здравый смысл [8, с. 428].

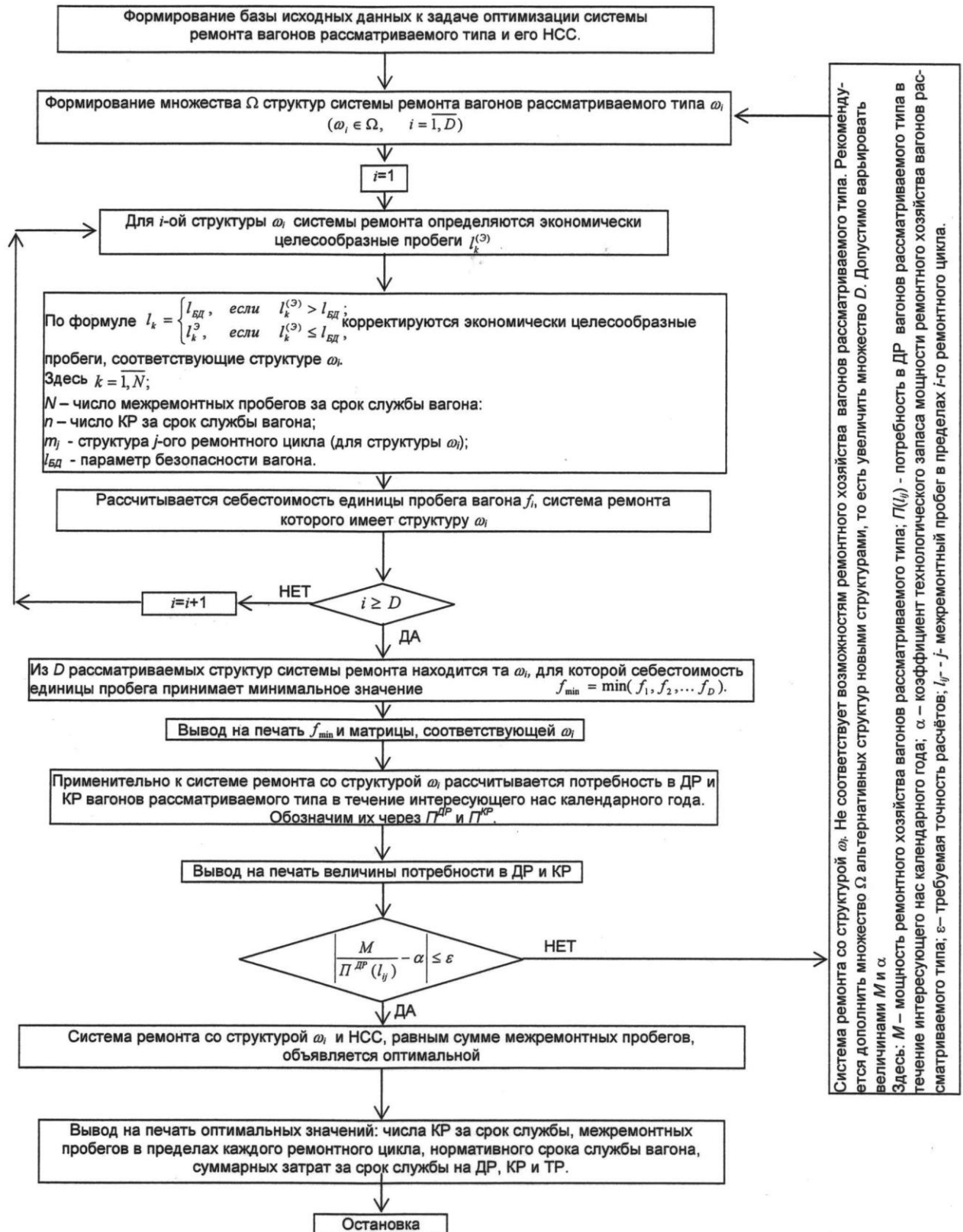


Рисунок 5.17 – Блок-схема алгоритма решения усеченной оптимизационной задачи

#### 5.4.8 Оптимизация параметров системы ремонта полувагонов

Рассмотрим некоторые особенности получения этих данных. По мере старения вагона происходит постепенное накопление повреждений в его конструкции. С помощью ремонтов различного типа происходит либо полное их устранение (путем замены отказавших деталей), либо частичное, что приводит не только к замедлению темпов деградации конструкции, но и к накоплению неустраняемых при ремонтах повреждений. Система ТОР является, таким образом, важнейшей инструкцией, согласно которой организовано управление ресурсом конструкции каждого вагона, его техническим состоянием. Для того чтобы упомянутая инструкция была эффективной, необходимо иметь возможность находить оптимальные параметры системы ТОР. Главным в оптимизации и в формировании исходных данных является эксплуатационная информация о динамике деградации конструкций по мере старения. Поскольку подходящих способов непосредственной количественной оценки упомянутой динамики на сегодняшний день не существует, то в технике принято ее измерять с помощью фиксации изменения затрат на ремонты различного типа.

Основным препятствием на пути получения данных о фактических затратах на ремонт является опасение руководства ремонтных предприятий относительно стабильности производства в случае отказа от ведения «двойной бухгалтерии» в существующих условиях. Последнее характерно, как известно, для любого предприятия.

Поэтому списание затрат на ДР по нормативу, независимо от фактических затрат на ремонт, позволяет маневрировать в условиях нехватки материалов и запасных частей, устаревшего технологического оборудования, а иногда и невысокой квалификации вышестоящего руководства и расточительного отношения к расходу материалов общего назначения.

Упомянутое маневрирование происходит обычно за счет снижения качества ремонта и подбора в ремонт вагонов с наименьшими объемами работ.

В целях усиления экономической заинтересованности железных дорог в улучшении технического состояния вагонов, упорядочивания финансирования и учета указаниями МПС от 14.04.1995 г. и от 07.04.2000 г. предписано осуществлять списание затрат на ДР по фактическим объемам выполненных работ. Упомянутые объемы должны быть отражены в дефектных ведомостях формы ВУ-22. В указаниях МПС, к сожалению, не предусмотрена обязательная подача данных о фактических затратах на ДР каждого вагона в ГВЦ для пономерного централизованного учета. Кроме того, не прописан механизм осуществления контроля над качеством ремонта, правильностью отбора объектов для ДР и списанием затрат.

Отмеченные недостатки упомянутых выше указаний МПС затрудняют получение информации о фактических затратах на ДР и КР по мере старения вагона. В этих условиях затраты на ДР и КР за срок службы полувагона получаем путем умножения усредненной величины затрат на один ДР на их число за срок службы, также и для КР. Однако на самом деле действительные затраты на деповские ремонты в рамках любого ремонтного цикла возрастают по мере старения вагона.

Те же проблемы с протоколированием и пересылкой в отраслевую компьютерную сеть фактических затрат ремонтных предприятий присущи и текущему ремонту. Ввиду большей сложности калькуляции затрат на текущие ремонты в условиях станции, нежели в стационарных условиях плановых ремонтов, упростим решение этой задачи. Вместо поиска динамики изменения затрат на этот вид ремонта воспользуемся способом выявления динамики роста частоты отцепок в текущие ремонты по мере его старения. Причем этот рост зависит от порядкового номера ремонтного цикла и межремонтного пробега в нем. Зададимся среднесетевым значением затрат на один отцепочный ремонт и, используя возможности системы пономерного централизованного учета вагонов, получим искомую динамику роста затрат на ТР по мере старения

вагона. Тем самым будут получены оценки коэффициентов роста удельных затрат  $a_{ij}$ ,  $b_{ij}$  по мере старения полувагона. При оптимизации системы ремонта учитываются очень важные параметры  $I_{БД}$  и  $I_{ГУ}$  и  $I_{ОБ}$  [64].

Расчеты выполнены с помощью многофункционального пакета Excel. Результаты расчета приведены в таблице 5.16.

Таблица 5.16

К расчету себестоимости единицы пробега

| Обозначение   | Структура ремонта | Себестоимость единицы пробега, (руб./год) | Потребность в ДР, (ваг.) | Суммарная потребность в плановых ремонтах, (ваг.) | Ограничение по мощности |
|---------------|-------------------|-------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------|
| $\omega_1$    | 5-6               | 186537                                    | 26196                    | 34196                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_2$    | 4-7               | 186741                                    | 31529                    | 34196                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_3$    | 3-8               | 187119                                    | 34196                    | 34196                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_4$    | 3-4-4             | 189977                                    | 26171                    | 34196                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_5$    | 2-4-5             | 190179                                    | 26048                    | 34196                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_6$    | 2-3-6             | 190382                                    | 26196                    | 34196                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_7$    | 2-2-7             | 190763                                    | 31529                    | 34196                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_8$    | 2-2-3-4           | 193914                                    | 23505                    | 34196                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_9$    | 2-3-3-3           | 193792                                    | 21040                    | 34196                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_{10}$ | 6-6               | 177724                                    | 27107                    | 35255                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_{11}$ | 5-7               | 177836                                    | 27255                    | 35255                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_{12}$ | 4-8               | 178112                                    | 32588                    | 35255                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_{13}$ | 3-4-5             | 180849                                    | 27230                    | 35255                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_{14}$ | 3-3-6             | 181036                                    | 27107                    | 35255                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_{15}$ | 2-5-5             | 181010                                    | 27230                    | 35255                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_{16}$ | 2-4-6             | 181120                                    | 27107                    | 35255                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_{17}$ | 2-3-7             | 181397                                    | 27255                    | 35255                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_{18}$ | 2-2-4-4           | 184376                                    | 27432                    | 35255                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_{19}$ | 2-3-3-4           | 184286                                    | 22099                    | 35255                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_{20}$ | 3-3-3-3           | 184162                                    | 25157                    | 35255                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_{21}$ | 6-7               | 170371                                    | 28162                    | 36310                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_{22}$ | 5-8               | 170556                                    | 28310                    | 36310                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_{23}$ | 4-9               | 170896                                    | 33643                    | 36310                                             | Не удовлетворяет        |
| $\omega_{24}$ | 4-4-5             | 173017                                    | 28487                    | 36310                                             | Не удовлетворяет        |

| Обозначение   | Структура<br>ремонта | Себестоимость<br>единицы<br>пробега,<br>(руб./год) | Потребность в<br>ДР, (ваг.) | Суммарная<br>потребность в<br>плановых<br>ремонтах, (ваг.) | Ограничение по<br>мощности |
|---------------|----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------|
| $\omega_{25}$ | 3-5-5                | 173104                                             | 31154                       | 36310                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{26}$ | 3-4-6                | 173205                                             | 28285                       | 36310                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{27}$ | 2-5-6                | 173354                                             | 28285                       | 36310                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{28}$ | 2-4-7                | 173540                                             | 28162                       | 36310                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{29}$ | 2-3-8                | 173883                                             | 28310                       | 36310                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{30}$ | 2-3-4-4              | 176223                                             | 26361                       | 36310                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{31}$ | 2-3-3-5              | 176323                                             | 23154                       | 36310                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{32}$ | 2-2-4-5              | 176407                                             | 28487                       | 36310                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{33}$ | 2-2-3-6              | 176594                                             | 25619                       | 36310                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{34}$ | 7-7                  | 164040                                             | 29616                       | 37641                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{35}$ | 6-8                  | 164144                                             | 24493                       | 37641                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{36}$ | 5-9                  | 164395                                             | 29641                       | 37641                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{37}$ | 4-10                 | 164794                                             | 34974                       | 37641                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{38}$ | 4-5-5                | 166384                                             | 33025                       | 37641                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{39}$ | 3-5-6                | 166559                                             | 32485                       | 37641                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{40}$ | 4-4-6                | 166479                                             | 29818                       | 37641                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{41}$ | 3-4-7                | 166731                                             | 29616                       | 37641                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{42}$ | 3-3-8                | 167050                                             | 29493                       | 37641                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{43}$ | 2-4-8                | 167123                                             | 29493                       | 37641                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{44}$ | 2-4-4-4              | 169296                                             | 29242                       | 37641                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{45}$ | 2-3-4-5              | 169405                                             | 27692                       | 37641                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{46}$ | 3-3-3-5              | 169316                                             | 27543                       | 37641                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{47}$ | 2-3-3-6              | 169578                                             | 24485                       | 37641                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{48}$ | 2-2-4-6              | 169656                                             | 29118                       | 37641                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{49}$ | 7-8                  | 158650                                             | 31508                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{50}$ | 6-9                  | 158821                                             | 31385                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{51}$ | 5-10                 | 159133                                             | 31533                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{52}$ | 4-11                 | 159585                                             | 36866                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{53}$ | 5-5-5                | 160618                                             | 31282                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{54}$ | 4-5-6                | 160724                                             | 34917                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{55}$ | 3-6-6                | 160863                                             | 37584                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{56}$ | 3-5-7                | 160960                                             | 34377                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{57}$ | 4-4-7                | 160855                                             | 31710                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |

| Обозначение   | Структура<br>ремонта | Себестоимость<br>единицы<br>пробега,<br>(руб./год) | Потребность в<br>ДР, (ваг.) | Суммарная<br>потребность в<br>плановых<br>ремонтах, (ваг.) | Ограничение по<br>мощности |
|---------------|----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------|
| $\omega_{58}$ | 3-4-8                | 161196                                             | 31508                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{59}$ | 3-4-4-4              | 163224                                             | 30449                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{60}$ | 3-3-4-5              | 163326                                             | 31134                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{61}$ | 2-4-4-5              | 163394                                             | 31134                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{62}$ | 2-3-5-5              | 163374                                             | 31282                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{63}$ | 2-3-4-6              | 163571                                             | 29584                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{64}$ | 2-2-5-6              | 163709                                             | 34917                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{65}$ | 3-3-3-6              | 163485                                             | 29435                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{66}$ | 3-3-3-3-3            | 165948                                             | 28380                       | 39533                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{67}$ | 8-8                  | 153905                                             | 38381                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{68}$ | 7-9                  | 154003                                             | 35512                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{69}$ | 6-10                 | 154236                                             | 35389                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{70}$ | 5-11                 | 154604                                             | 35537                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{71}$ | 4-12                 | 155107                                             | 40870                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{72}$ | 3-13                 | 155744                                             | 43537                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{73}$ | 5-5-6                | 155672                                             | 35286                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{74}$ | 4-6-6                | 155749                                             | 40620                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{75}$ | 4-5-7                | 155840                                             | 38981                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{76}$ | 3-6-7                | 155970                                             | 41588                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{77}$ | 2-7-7                | 156214                                             | 41588                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{78}$ | 4-4-8                | 156061                                             | 35714                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{79}$ | 3-5-8                | 156131                                             | 38381                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{80}$ | 4-4-4-4              | 157962                                             | 34569                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{81}$ | 3-4-4-5              | 158071                                             | 34453                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{82}$ | 3-3-5-5              | 158146                                             | 34329                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{83}$ | 2-4-5-5              | 158210                                             | 34329                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{84}$ | 3-3-4-6              | 158237                                             | 35138                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{85}$ | 2-4-4-6              | 158300                                             | 35138                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{86}$ | 2-3-5-6              | 158375                                             | 35286                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{87}$ | 2-2-6-6              | 158570                                             | 40620                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{88}$ | 3-3-3-3-4            | 160575                                             | 32384                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{89}$ | 2-3-3-4-4            | 160668                                             | 29236                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{90}$ | 2-2-4-4-4            | 160736                                             | 34659                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |

| Обозначение    | Структура<br>ремонта | Себестоимость<br>единицы<br>пробега,<br>(руб./год) | Потребность в<br>ДР, (ваг.) | Суммарная<br>потребность в<br>плановых<br>ремонтах, (ваг.) | Ограничение по<br>мощности |
|----------------|----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------|
| $\omega_{91}$  | 2-2-3-4-5            | 160842                                             | 31786                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{92}$  | 2-2-2-5-5            | 160981                                             | 31663                       | 43537                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{93}$  | 8-9                  | 149810                                             | 46659                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{94}$  | 7-10                 | 149981                                             | 43790                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{95}$  | 6-11                 | 150262                                             | 43667                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{96}$  | 5-12                 | 150682                                             | 43815                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{97}$  | 4-13                 | 151232                                             | 49148                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{98}$  | 5-6-6                | 151286                                             | 42756                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{99}$  | 4-6-7                | 151444                                             | 48898                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{100}$ | 5-5-7                | 151372                                             | 43564                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{101}$ | 3-7-7                | 151626                                             | 51564                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{102}$ | 4-5-8                | 151597                                             | 47199                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{103}$ | 3-6-8                | 151719                                             | 49866                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{104}$ | 2-7-8                | 151949                                             | 49866                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{105}$ | 4-4-4-5              | 153421                                             | 42937                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{106}$ | 3-4-5-5              | 153505                                             | 42735                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{107}$ | 2-5-5-5              | 153618                                             | 42735                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{108}$ | 3-3-5-6              | 153661                                             | 42607                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{109}$ | 2-4-5-6              | 153721                                             | 42607                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{110}$ | 2-3-6-6              | 153852                                             | 42756                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{111}$ | 3-3-3-4-4            | 155819                                             | 40387                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{112}$ | 2-3-4-4-4            | 155982                                             | 40535                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{113}$ | 2-2-4-4-5            | 156055                                             | 42937                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{114}$ | 2-2-3-5-5            | 156132                                             | 40069                       | 51815                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{115}$ | 9-9                  | 146141                                             | 65037                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{116}$ | 8-10                 | 146236                                             | 61830                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{117}$ | 7-11                 | 146455                                             | 58961                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{118}$ | 6-12                 | 146799                                             | 58838                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{119}$ | 5-13                 | 147269                                             | 58986                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{120}$ | 4-14                 | 147863                                             | 64319                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{121}$ | 6-6-6                | 147370                                             | 57783                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{122}$ | 5-6-7                | 147469                                             | 57927                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{123}$ | 4-7-7                | 147594                                             | 63260                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{124}$ | 3-7-8                | 147853                                             | 66735                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |

| Обозначение    | Структура<br>ремонта | Себестоимость<br>единицы<br>пробега,<br>(руб./год) | Потребность в<br>ДР, (ваг.) | Суммарная<br>потребность в<br>плановых<br>ремонтах, (ваг.) | Ограничение по<br>мощности |
|----------------|----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------|
| $\omega_{125}$ | 2-8-8                | 148129                                             | 66735                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{126}$ | 4-4-5-5              | 149368                                             | 57833                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{127}$ | 3-3-6-6              | 149651                                             | 57783                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{128}$ | 3-4-5-6              | 149527                                             | 57906                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{129}$ | 4-4-4-6              | 149448                                             | 58108                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{130}$ | 3-3-4-4-4            | 151577                                             | 56694                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{131}$ | 2-2-4-5-5            | 151873                                             | 57833                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{132}$ | 2-3-4-4-5            | 151740                                             | 55706                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{133}$ | 3-3-3-4-5            | 151671                                             | 55558                       | 66986                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{134}$ | 9-10                 | 142948                                             | 79764                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{135}$ | 8-11                 | 143101                                             | 76557                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{136}$ | 7-12                 | 143375                                             | 73688                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{137}$ | 6-13                 | 143770                                             | 73565                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{138}$ | 5-14                 | 144285                                             | 73713                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{139}$ | 6-6-7                | 143959                                             | 72510                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{140}$ | 5-7-7                | 144030                                             | 72568                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{141}$ | 4-7-8                | 144231                                             | 77987                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{142}$ | 5-5-8                | 144113                                             | 72654                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{143}$ | 4-5-5-5              | 145725                                             | 75204                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{144}$ | 4-4-5-6              | 145816                                             | 75260                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{145}$ | 3-5-5-6              | 145876                                             | 75227                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{146}$ | 2-5-6-6              | 146047                                             | 72358                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{147}$ | 3-4-4-4-4            | 147770                                             | 68625                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{148}$ | 3-3-4-4-5            | 147870                                             | 71421                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{149}$ | 2-4-4-4-5            | 147924                                             | 71421                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{150}$ | 2-3-4-5-5            | 148005                                             | 69871                       | 81713                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{151}$ | 10-10                | 140043                                             | 97322                       | 97573                                                      | Удовлетворяет              |
| $\omega_{152}$ | 9-11                 | 140134                                             | 95624                       | 97573                                                      | Удовлетворяет              |
| $\omega_{153}$ | 8-12                 | 140342                                             | 92417                       | 97573                                                      | Удовлетворяет              |
| $\omega_{154}$ | 7-13                 | 140667                                             | 89548                       | 97573                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{155}$ | 6-14                 | 141110                                             | 89425                       | 97573                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{156}$ | 5-15                 | 141671                                             | 89573                       | 97573                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{157}$ | 6-7-7                | 141868                                             | 88094                       | 97573                                                      | Не удовлетворяет           |

| Обозначение    | Структура<br>ремонта | Себестоимость<br>единицы<br>пробега,<br>(руб./год) | Потребность в<br>ДР, (ваг.) | Суммарная<br>потребность в<br>плановых<br>ремонтах, (ваг.) | Ограничение по<br>мощности |
|----------------|----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------|
| $\omega_{158}$ | 5-7-8                | 141014                                             | 88518                       | 97573                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{159}$ | 6-6-8                | 140947                                             | 88370                       | 97573                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{160}$ | 4-8-8                | 141179                                             | 93851                       | 97573                                                      | Удовлетворяет              |
| $\omega_{161}$ | 5-5-5-5              | 142433                                             | 85318                       | 97573                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{162}$ | 3-5-6-6              | 142656                                             | 90524                       | 97573                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{163}$ | 4-4-6-6              | 142600                                             | 87858                       | 97573                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{164}$ | 2-6-6-6              | 142800                                             | 90524                       | 97573                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{165}$ | 4-5-5-6              | 142533                                             | 91064                       | 97573                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{166}$ | 3-4-4-4-5            | 144439                                             | 84485                       | 97573                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{167}$ | 3-3-4-5-5            | 144516                                             | 85170                       | 97573                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{168}$ | 2-4-4-5-5            | 144567                                             | 85170                       | 97573                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{169}$ | 2-3-5-5-5            | 144627                                             | 85318                       | 97573                                                      | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{170}$ | 10-11                | 137501                                             | 113777                      | 114028                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{171}$ | 9-12                 | 137648                                             | 112079                      | 114028                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{172}$ | 8-13                 | 137909                                             | 108872                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{173}$ | 7-14                 | 138283                                             | 106003                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{174}$ | 6-15                 | 138771                                             | 105880                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{175}$ | 7-7-7                | 138052                                             | 104111                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{176}$ | 6-7-8                | 138146                                             | 104549                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{177}$ | 5-8-8                | 138261                                             | 104698                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{178}$ | 5-7-9                | 138342                                             | 104973                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{179}$ | 6-6-9                | 138278                                             | 104825                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{180}$ | 4-8-9                | 138500                                             | 110306                      | 114028                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{181}$ | 3-9-9                | 138571                                             | 112973                      | 114028                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{182}$ | 4-5-6-6              | 138626                                             | 105408                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{183}$ | 5-5-5-6              | 139550                                             | 101773                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{184}$ | 3-6-6-6              | 139725                                             | 108075                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{185}$ | 3-5-6-7              | 139819                                             | 106979                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{186}$ | 4-4-6-7              | 139765                                             | 104313                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{187}$ | 4-5-5-7              | 139702                                             | 107519                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{188}$ | 2-5-7-7              | 140025                                             | 104111                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{189}$ | 2-6-6-7              | 139957                                             | 106979                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{190}$ | 4-4-4-4-5            | 141324                                             | 96873                       | 114028                                                     | Удовлетворяет              |

| Обозначение    | Структура<br>ремонта | Себестоимость<br>единицы<br>пробега,<br>(руб./год) | Потребность в<br>ДР, (ваг.) | Суммарная<br>потребность в<br>плановых<br>ремонтах, (ваг.) | Ограничение по<br>мощности |
|----------------|----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------|
| $\omega_{191}$ | 3-4-4-5-5            | 141407                                             | 96666                       | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{192}$ | 3-3-5-5-5            | 141465                                             | 96543                       | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{193}$ | 2-4-5-5-5            | 141513                                             | 96543                       | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{194}$ | 3-3-4-5-6            | 141557                                             | 101625                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{195}$ | 3-4-4-4-6            | 141184                                             | 100940                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{196}$ | 2-4-4-5-6            | 141606                                             | 101625                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{197}$ | 2-3-5-5-6            | 141664                                             | 101773                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{198}$ | 2-3-4-6-6            | 141732                                             | 100075                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{199}$ | 2-2-5-6-6            | 141831                                             | 105408                      | 114028                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{200}$ | 11-11                | 135159                                             | 128321                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{201}$ | 10-12                | 135248                                             | 129129                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{202}$ | 9-13                 | 135447                                             | 127431                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{203}$ | 8-14                 | 135758                                             | 124224                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{204}$ | 7-15                 | 136179                                             | 121355                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{205}$ | 6-16                 | 136711                                             | 121232                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{206}$ | 7-7-8                | 135582                                             | 119463                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{207}$ | 6-8-8                | 135648                                             | 119339                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{208}$ | 6-7-9                | 135726                                             | 119901                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{209}$ | 5-8-9                | 135836                                             | 120050                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{210}$ | 4-9-9                | 136036                                             | 125383                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{211}$ | 5-5-6-6              | 136911                                             | 112852                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{212}$ | 4-6-6-6              | 136967                                             | 118185                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{213}$ | 4-5-6-7              | 137056                                             | 120760                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{214}$ | 4-4-7-7              | 137165                                             | 117554                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{215}$ | 3-5-7-7              | 137216                                             | 120220                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{216}$ | 2-6-7-7              | 137348                                             | 120220                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{217}$ | 4-4-4-5-5            | 138572                                             | 10531                       | 129380                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{218}$ | 3-4-5-5-5            | 138636                                             | 105129                      | 129380                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{219}$ | 2-5-5-5-5            | 138724                                             | 105129                      | 129380                                                     | Удовлетворяет              |
| $\omega_{220}$ | 3-4-4-5-6            | 138725                                             | 112018                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{221}$ | 3-3-5-5-6            | 138780                                             | 111895                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{222}$ | 2-3-5-6-6            | 138946                                             | 112852                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |
| $\omega_{223}$ | 2-2-6-6-6            | 139087                                             | 118185                      | 129380                                                     | Не удовлетворяет           |

## Оптимальные стратегии ремонта полувагонов

| Обозначение    | Структура ремонта | Себестоимость единицы пробега, (руб./год) | Срок службы полувагона (лет) | Потребность в плановых ремонтах, (ваг.) | Количество межремонтных циклов | Количество межремонтных интервалов | Количество ДР |
|----------------|-------------------|-------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------|
| $\omega_{151}$ | 10-10             | 140043                                    | 28,3                         | 97573                                   | 2                              | 20                                 | 18            |
| $\omega_{152}$ | 9-11              | 140134                                    | 28,3                         | 97573                                   | 2                              | 20                                 | 18            |
| $\omega_{153}$ | 8-12              | 140342                                    | 28,3                         | 97573                                   | 2                              | 20                                 | 18            |
| $\omega_{160}$ | 4-8-8             | 141179                                    | 28,3                         | 97573                                   | 3                              | 20                                 | 17            |
| $\omega_{172}$ | 8-13              | 137909                                    | 29,75                        | 114028                                  | 2                              | 21                                 | 19            |
| $\omega_{173}$ | 7-14              | 138283                                    | 29,75                        | 114028                                  | 2                              | 21                                 | 19            |
| $\omega_{174}$ | 6-15              | 138771                                    | 29,75                        | 114028                                  | 2                              | 21                                 | 19            |
| $\omega_{175}$ | 7-7-7             | 138052                                    | 29,75                        | 114028                                  | 3                              | 21                                 | 18            |
| $\omega_{176}$ | 6-7-8             | 138146                                    | 29,75                        | 114028                                  | 3                              | 21                                 | 18            |
| $\omega_{177}$ | 5-8-8             | 138261                                    | 29,75                        | 114028                                  | 3                              | 21                                 | 18            |
| $\omega_{178}$ | 5-7-9             | 138342                                    | 29,75                        | 114028                                  | 3                              | 21                                 | 18            |
| $\omega_{179}$ | 6-6-9             | 138278                                    | 29,75                        | 114028                                  | 3                              | 21                                 | 18            |
| $\omega_{182}$ | 4-5-6-6           | 138626                                    | 29,75                        | 114028                                  | 4                              | 21                                 | 17            |
| $\omega_{183}$ | 5-5-5-6           | 139550                                    | 29,75                        | 114028                                  | 4                              | 21                                 | 17            |
| $\omega_{184}$ | 3-6-6-6           | 139725                                    | 29,75                        | 114028                                  | 4                              | 21                                 | 17            |
| $\omega_{185}$ | 3-5-6-7           | 139819                                    | 29,75                        | 114028                                  | 4                              | 21                                 | 17            |
| $\omega_{186}$ | 4-4-6-7           | 139765                                    | 29,75                        | 114028                                  | 4                              | 21                                 | 17            |
| $\omega_{187}$ | 4-5-5-7           | 139702                                    | 29,75                        | 114028                                  | 4                              | 21                                 | 17            |
| $\omega_{188}$ | 2-5-7-7           | 140025                                    | 29,75                        | 114028                                  | 4                              | 21                                 | 17            |
| $\omega_{189}$ | 2-6-6-7           | 139957                                    | 29,75                        | 114028                                  | 4                              | 21                                 | 17            |
| $\omega_{190}$ | 4-4-4-4-5         | 141324                                    | 29,75                        | 114028                                  | 5                              | 21                                 | 16            |
| $\omega_{191}$ | 3-4-4-5-5         | 141407                                    | 29,75                        | 114028                                  | 5                              | 21                                 | 16            |
| $\omega_{192}$ | 3-3-5-5-5         | 141465                                    | 29,75                        | 114028                                  | 5                              | 21                                 | 16            |
| $\omega_{193}$ | 2-4-5-5-5         | 141513                                    | 29,75                        | 114028                                  | 5                              | 21                                 | 16            |
| $\omega_{194}$ | 3-3-4-5-6         | 141557                                    | 29,75                        | 114028                                  | 5                              | 21                                 | 16            |
| $\omega_{195}$ | 3-4-4-4-6         | 141184                                    | 29,75                        | 114028                                  | 5                              | 21                                 | 16            |
| $\omega_{196}$ | 2-4-4-5-6         | 141606                                    | 29,75                        | 114028                                  | 5                              | 21                                 | 16            |
| $\omega_{197}$ | 2-3-5-5-6         | 141664                                    | 29,75                        | 114028                                  | 5                              | 21                                 | 16            |
| $\omega_{198}$ | 2-3-4-6-6         | 141732                                    | 29,75                        | 114028                                  | 5                              | 21                                 | 16            |
| $\omega_{199}$ | 2-2-5-6-6         | 141831                                    | 29,75                        | 114028                                  | 5                              | 21                                 | 16            |
| $\omega_{217}$ | 4-4-4-5-5         | 138572                                    | 31,17                        | 129380                                  | 5                              | 22                                 | 17            |
| $\omega_{218}$ | 3-4-5-5-5         | 138636                                    | 31,17                        | 129380                                  | 5                              | 22                                 | 17            |
| $\omega_{219}$ | 2-5-5-5-5         | 138724                                    | 31,17                        | 129380                                  | 5                              | 22                                 | 17            |

Как видно из таблицы 5.17, наименьшие из затрат на содержание имеет 172-я структура, при которой себестоимость единицы пробега равна 137 909 руб./год., нормативный срок службы 29,75 лет, оптимальные межремонтные параметры в матричном виде имеют вид:

$$\begin{aligned}
 & \text{Общий вид матрицы} \\
 & \begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & l_{13} & l_{14} & l_{15} & l_{16} & l_{17} & l_{18} \\ l_{21} & l_{22} & l_{23} & l_{24} & l_{25} & l_{25} & l_{27} & l_{28} & l_{29} & l_{210} & l_{211} & l_{212} & l_{13} \end{pmatrix} \\
 & \text{Матрица межремонтных периодов (мес.)} \\
 & \begin{pmatrix} 17 & 17 & 17 & 17 & 17 & 17 & 17 & 17 \\ 17 & 17 & 17 & 17 & 17 & 17 & 17 & 17 & 17 & 17 & 17 & 17 & 17 \end{pmatrix} \\
 & \text{Матрица межремонтных пробегов (км.)} \\
 & \begin{pmatrix} 168 \cdot 10^3 & 168 \cdot 10^3 & 168 \cdot 10^3 & 168 \cdot 10^3 & \Lambda & \Lambda & \Lambda & 168 \cdot 10^3 \\ 168 \cdot 10^3 & 168 \cdot 10^3 & 168 \cdot 10^3 & 168 \cdot 10^3 & \Lambda & \Lambda & \Lambda & 168 \cdot 10^3 & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & 168 \cdot 10^3 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Общая потребность в ремонтах 114 028 вагонов.

Параметры роста затрат  $a_k$  и  $b_k$  на текущие ремонты представлены в таблицах 5.18 и 5.19.

Таблица 5.18

Коэффициент роста затрат  $a_k$  на текущие ремонты полувагона по мере его старения

| Цикл   | Номера межремонтных периодов $lij$ |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |
|--------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| j/i    | 1                                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11     | 12     | 13     |
| 1 цикл | 67,5                               | 119,2 | 174,8 | 234,2 | 297,5 | 364,5 | 435,4 | 510,2 |       |       |        |        |        |
| 2 цикл | 70,9                               | 126,3 | 185,8 | 249,4 | 317,1 | 388,8 | 464,7 | 544,6 | 628,6 | 716,7 | 808,94 | 905,23 | 1005,6 |

Таблица 5.19

Коэффициент роста затрат  $b_k$  на текущие ремонты полувагона по мере его старения

| Цикл   | Номера межремонтных периодов $lij$ |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| j/i    | 1                                  | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     |
| 1 цикл | 3,7318                             | 4,1981 | 4,6644 | 5,1307 | 5,597  | 6,0633 | 6,5295 | 6,9958 |        |        |        |        |        |
| 2 цикл | 3,7651                             | 4,2647 | 4,7643 | 5,2639 | 5,7635 | 6,2631 | 6,7627 | 7,2623 | 7,7619 | 8,2615 | 8,7611 | 9,2607 | 9,7602 |

Составляющие себестоимости для оптимальной структуры ремонта полувагона представлены в таблице 5.20.

Таблица 5.20

Составляющие себестоимости для оптимальной структуры

| Составляющая расходов | Значение | Размерность  | Процент от суммарных затрат |
|-----------------------|----------|--------------|-----------------------------|
| Цена вагона           | 1750000  | руб.         | 43%                         |
| Ликвидная стоимость   | 80000    | руб.         | -2%                         |
| Расходы других служб  | 54000    | руб.         | 1%                          |
| Расходы на КР         | 171000   | руб.         | 4%                          |
| Расходы на ДР         | 2023500  | руб.         | 49%                         |
| Расходы на ТР         | 184282   | руб.         | 4%                          |
| Общие расходы         | 4102782  | руб.         | 100%                        |
| НСС                   | 3583,4   | тыс. км      |                             |
| СЕП (фактический)     | 1144,95  | руб./тыс. км |                             |
| НСС                   | 29,8     | лет          |                             |
| СЕП                   | 137908,6 | руб./год     |                             |

Таким образом, в рамках единой математической модели по критерию минимума себестоимости единицы пробега получены оптимальные параметры системы ремонта полувагонов:

- периодичность проведения глубокой диагностики – 17 месяцев;
- количество капитальных ремонтов – 1;
- количество деповских ремонтов – 20;
- количество межремонтных периодов от постройки до капитального ремонта – 8;
- количество межремонтных периодов от капитального ремонта до списания – 13;
- назначенный срок службы – 29,8 лет.

**Выводы по пятой главе**

1. На основе использования информационного ресурса «Подсистема качества изготовления и планового ремонта грузовых вагонов» получены вероятности безотказной работы полувагонов по межремонтным периодам в течение назначенного срока службы.

2. Получены графические решения оптимальности срока службы по критерию безубыточности, исходя из которых установлено, что назначенный срок службы полувагона может варьироваться от 24 до 30 лет в зависимости от эффективности его использования в перевозочном процессе и количества капитальных ремонтов. Другими словами можно сказать, что найдены границы множества, на котором следует искать оптимальную структуру ремонта полувагонов по критерию минимума себестоимости пробега.

3. Определен всевозможный перечень конкурирующих структур ремонта полувагонов на временном интервале от 24 до 30 лет.

4. В рамках единой математической модели по критерию минимума себестоимости единицы пробега получены оптимальные параметры системы ремонта и назначенного срока службы полувагонов:

- периодичность проведения глубокой диагностики – 17 месяцев;
- количество капитальных ремонтов – 1;
- количество деповских ремонтов – 20;
- количество межремонтных периодов от постройки до капитального ремонта – 8;
- количество межремонтных периодов от капитального ремонта до списания – 13;
- назначенный срок службы – 29,8 лет.

## Заключение

В диссертации рассмотрены различные методики анализа и моделирования процесса функционирования грузового вагона в межремонтном периоде и в течение назначенного срока службы. На базе, представленной в работе теории вероятностного, статистического и математического моделирования, получены следующие результаты:

1. Выполнен детальный анализ структуры вагонного парка в условиях реформирования отрасли и перехода на новую систему планового ремонта грузовых вагонов. Проанализированы мероприятия, направленные на поддержание эксплуатационной надежности грузовых вагонов при переходе на систему ремонта по фактически исполненному пробегу.

2. Выполнен анализ эксплуатации грузовых вагонов в условиях удлинения гарантийных участков технического обслуживания, который показывает, что в настоящее время происходит планомерная комплексная реструктуризация отрасли по всем направлениям деятельности, что создает благоприятные условия для удлинения гарантийных плеч ПТО грузовых поездов и стабилизации дел с безопасностью движения.

3. Установлено, что общая тенденция развития отцепок грузовых вагонов в межремонтном периоде имеет положительную динамику. При этом наблюдается увеличение числа отказов по таким узлам конструкции, как колесные пары, тележка, кузов и рама. В свою очередь, наблюдается снижение числа отцепок по буксовому узлу, автосцепному устройству, автотормозному оборудованию и прочим причинам.

4. Определены основные неисправности в соответствии с действующим классификатором, по которым производится основная доля (90 %) отцепок грузовых вагонов в текущий ремонт. Большинство отцепок грузовых вагонов происходит вследствие отказов следующих узлов: кузова, колесных пар и тележек. В зависимости от объема ремонта и отказавшего узла наибольшее

число отцепок вагонов в 2011 г. составило: ТР-1 – по кузову (62 %), ТР-2 – по колесным парам (53 %).

5. Выполнен анализ причин отказов грузовых вагонов в межремонтном периоде, по результатам которого можно утверждать, что основными причинами отказов грузовых вагонов в межремонтном периоде являются конструкционные и производственные отказы – процентное соотношение данных отказов в настоящее время составляет 52 % и 46 % соответственно.

6. Доказано, что число отцепок грузовых вагонов по нагреву буксового узла может рассматриваться как случайная величина, которая во времени может быть предсказана с помощью функции, обуславливающей влияние тенденции, сезонности и случайности.

7. Проанализированы и систематизированы данные по случаям нарушений безопасности движения вследствие изломов боковых рам из-за наличия производственного дефекта. В результате получен закон распределения риска транспортного происшествия для случаев эксплуатации боковой рамы грузового вагона с критическим дефектом. Установлено, что случайные величины – наработка и срок службы боковой рамы до момента разрушения – подчиняются закону гамма-распределения.

8. Практически реализован расчет оптимальной длины гарантийного участка безостановочного следования грузовых поездов относительно параметра безопасности вагона и вероятности качества технического обслуживания поезда на ПТО в условиях реально достигнутого уровня безопасности движения на сети дорог России.

9. На основе использования данных информационного ресурса «Подсистема качества изготовления и планового ремонта грузовых вагонов» получены вероятности безотказной работы полувагонов по межремонтным периодам в течение всего назначенного срока службы.

10. Получены графические решения оптимальности срока службы полувагона по критерию безубыточности. Из которых следует, что назначенный срок службы полувагона может варьироваться от 24 до 30 лет в

зависимости от эффективности его использования в перевозочном процессе и количества капитальных ремонтов. Можно сказать, что найдены границы множества, на котором следует искать оптимальную структуру ремонта полувагонов по критерию минимума себестоимости пробега.

11. Определен всевозможный перечень «конкурирующих» структур ремонта полувагонов на временном интервале от 24 до 30 лет.

12. В рамках единой математической модели по критерию минимума себестоимости единицы пробега получены оптимальные параметры системы ремонта и назначенного срока службы полувагона:

- периодичность проведения глубокой диагностики – 17 месяцев;
- количество капитальных ремонтов – 1;
- количество деповских ремонтов – 20;
- количество межремонтных периодов от постройки до капитального ремонта – 8;
- количество межремонтных периодов от капитального ремонта до списания – 13;
- назначенный срок службы – 29,8 лет.

### Список литературы

1. Шишов, Е.В. Гарантийным участкам – безопасное проследование поездов! [Текст] / Е.В. Шишов // Вагоны и вагонное хозяйство – 2012. – №2. – С. 2–3.
2. Лосев, Д.Н. Итоги работы вагонного хозяйства за 2011 г. [Текст] / Д.Н. Лосев // Вагоны и вагонное хозяйство – 2012. – №1. – С. 8–10.
3. Лосев, Д.Н. Итоги работы вагонного хозяйства за 2010 г. [Текст] / Д.Н. Лосев // Вагоны и вагонное хозяйство – 2011. – №1. – С. 2–4.
4. Григорьев, К.В. Организация работы на удлинённых плечах [Текст] / К.В. Григорьев, А.И. Чурилин // Вагоны и вагонное хозяйство – 2009. – №1. – С. 4–7.
5. Францев, А.Н. Техническому обслуживанию – надёжность и качество [Текст] / А.Н. Францев // Вагоны и вагонное хозяйство – 2010 – №4. – С. 15–17.
6. Иванов, А.О. Улучшать технико-экономические показатели железнодорожной техники [Текст] / А.О. Иванов // Вагоны и вагонное хозяйство – 2009. – №2. – С. 2–3.
7. Голышев, А.И. Сертификация производства и внедрение системы менеджмента повысят качество ремонта вагонов [Текст] / А.И. Голышев // Вагоны и вагонное хозяйство – 2004. – Пилотный выпуск. – С. 26–29.
8. Вагонное хозяйство: учебник для ж.-д. транспорта. / П.А. Устич, И.И. Хаба, В.А. Ивашов и др.; Под ред. П.А. Устича. – М.: Маршрут, 2003. – 560 с.
9. Методические указания по учету грузовых вагонов ОАО «РЖД»: Распоряжение ОАО «РЖД» №1151 // 2013 – С. 74.
10. Салли Дж. / Новые высокоскоростные пассажирские поезда компании Siemens [Текст] / Дж. Салли // Modern Railways – Великобритания – 2006 – №696. – С. 64 – 65, англ.
11. Катлен К. Высокоскоростные поезда TGV POS [Текст] // Revue Generale des Chemins de Fer – Франция – 2006. – №153, С. 33 – 43.

12. Морчиладзе, И.Г. Модернизация системы технического обслуживания грузовых вагонов [Текст] / И.Г. Морчиладзе // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: сб. науч. ст. / Петербургский гос. ун-т. путей сообщений, научно-исследовательская лаборатория «Динамика вагонов», научно-внедренческий центр «Вагоны». – Санкт-Петербург, 2003. – С. 211 – 215.
13. Железные дороги США: особенности грузовых и пассажирских перевозок // Железные дороги мира – 2007 – №4, С. 9 – 32.
14. Головаш, А.Н. Влияние технологий на качество ремонта и срок службы колесных пар [Текст] / А.Н. Головаш, П.Н. Рубежанский, В.В. Лукин, Ю.С. Щапин // Вагоны и вагонное хозяйство – 2008 – №3. – С. 24–26.
15. Порядин, С.И., Бороненко, Ю.П., Цюренко, В.Н. Новое поколение грузовых вагонов России [Текст] / И.Г. Морчиладзе // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: сб. науч. ст. / Петербургский гос. ун-т. путей сообщений, научно-исследовательская лаборатория «Динамика вагонов», научно-внедренческий центр «Вагоны». – Санкт-Петербург, 2003. – С. 3 – 14.
16. В Тихвине сертифицированы первые полувагоны на тележке «Barber S-2R» [Текст] // Вагоны и вагонное хозяйство – 2010 – №4. – С. 14.
17. Порядин, С.И. Вагонное хозяйство: шаги реформы [Текст] / С.И. Порядин // Вагоны и вагонное хозяйство, 2005 – №1. – С. 8 – 11.
18. Калетин, С.В. Созданы все условия для взаимовыгодного сотрудничества [Текст] / С.В. Калетин // Вагоны и вагонное хозяйство – 2008. – №1. – С. 8 – 11.
19. Ашихмина, О.А. Оценка эффективности воспроизводства парка полувагонов [Текст] / О.А. Ашихмина // Экономика железных дорог – 2007. – №1. – С. 71 – 80.
20. Яковлева А.Е. Система менеджмента качества в действии [Текст] / А.Е. Яковлева // Вагоны и вагонное хозяйство – 2008. – №3. с. 14 – 15.
21. Единая концепция организации ремонта грузовых вагонов: Распоряжение ОАО «РЖД» №242 // 2011 – С. 72.

22. Справочные материалы причин поступления грузовых вагонов в текущий отцепочный ремонт за 2011 год [Текст] / Центральная дирекция инфраструктуры управления вагонного хозяйства, проектно-конструкторское бюро вагонного хозяйства. – Москва, 2011. – 153 с.

23. ГОСТ 27.002 – 89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 37 с.

24. ГОСТ 27.104 – 84 Надежность в технике. Признаки и классификации отказов и предельных состояний. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 4 с.

25. Елисеева, И.И., Егорова, И.И. Статистика [Текст]: Учебник / И.И. Елисеева, И.И. Егорова; под общ. ред. И.И. Елисеевой. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2004. – 448 с.

26. Статистическое моделирование и прогнозирование [Текст]: Учебное пособие / Г.М. Гамбаров, Н.М. Журавель, Ю.Г. Королев и др.; под общ. ред. А.Г. Гранберга. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 383 с.

27. Высшая математика в упражнениях и задачах [Текст]: Учеб. пособие для вузов / П.Е. Данко, А.Г. Попова, Т.Я. Кожевникова, С.П. Данко – 7-е изд., испр. – М.: ООО «Издательство Оникс»: ООО «Издательство Мир и Образование», 2008. – 816 с.

28. Высшая математика для экономических специальностей [Текст]: учебник и практикум / Н.Ш. Кремер, Б.А. Путко, И.М. Тришин, М.Н. Фридман; под ред. Н.Ш. Крамера. – 3-е изд, перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт; Высшее образование, 2010. – 909 с.

29. Выгодский, М.Я. Справочник по математике [Текст] / М.Я. Выгодский. – М.: АСТ: Астрель, 2010. – 1055 с.

30. Саперов, А.В. Как повысить надежность буксового узла [Текст] / А.В. Саперов // Вагоны и вагонное хозяйство, 2009 – №3. – С. 13 – 15.

31. Малашкевич, Э.А. Прогнозирование отказов грузовых вагонов на основе анализа статистической информации [Текст] / Э.А. Малашкевич, В.А. Петровых, Д.Г. Налабордин // Вагоны и вагонное хозяйство, 2013 – №1. – С. 34 – 37.

32. Лхамжавын Болт. Разработка и обоснование сроков службы и системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов (на примере полувагонов Улан-Баторской железной дороги): дисс. ...канд. тех. Наук: 05.22.07 / Лхамжавын Болт. – М., 2008. – 175 с.

33. Палкин, С.В. Поставить заслон дефектам литья [Текст] / С.В. Палкин // Вагоны и вагонное хозяйство – 2011. – №2. – С. 2–6.

34. Смирнова, Т.А. О причинах низкого качества боковых рам и надрессорных балок тележек [Текст] / Т.А. Смирнова, А.В. Сухов, В.Б. Беловодский, Б.В. Борщ, Т.Е. Конькова // Вагоны и вагонное хозяйство – 2011. – №1. – С. 22–24.

35. Кутянина, М.Н. К оценке качества литых боковых рам [Текст] / М.Н. Кутянина, В.А. Рейхарт // Вагоны и вагонное хозяйство – 2011. – №1. – С. 25–28.

36. Протопопов, А.Л. Размер трещины и живучесть боковой рамы тележки [Текст] / А.Л. Протопопов // Вагоны и вагонное хозяйство – 2012. – №2. – С. 32–34.

37. Иванова, Т.В. Статистическая оценка живучести боковых рам с критическим дефектом [Текст] / Т.В. Иванова, Д.Г. Налабордин // Железнодорожный транспорт – 2011. – №7. С. 68 – 69.

38. Иванова, Т.В. Статистическая оценка безопасной эксплуатации боковых рам грузовых вагонов с критическим дефектом [Текст] / Т.В. Иванова, Д.Г. Налабордин // Транспорт: наука, техника, управление – 2011. – №7. С. 53 – 55.

39. Иванова, Т.В. Статистическая оценка живучести боковых рам с критическим дефектом [Текст] / Т.В. Иванова, Д.Г. Налабордин // Вагоны и вагонное хозяйство – 2012. – №1. С. 38 – 39.

40. Надежность рельсового нетягового подвижного состава. / П.А. Устич, В.А. Карпычев, М.Н. Овечников.; Под ред. П.А. Устича. – М.: УМЦ МПС России, 2004. – 416 с.

41. ГОСТ 15467 – 86 Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 28 с.
42. ГОСТ 27.502 – 89 Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 23 с.
43. Статистические методы обработки эмпирических данных [Текст]. Рекомендации / ВНИИНМАШ. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 232 с.
44. Налабордин, Д.Г. Оптимизация протяженности участков безостановочного движения поездов на основе оценки параметра безопасности грузовых вагонов [Текст] / Д.Г. Налабордин, В.А. Рудаков // Бюллетень транспортной информации – 2012. – №12. С. 18 – 21.
45. Единая концепция организации ремонта грузовых вагонов: Распоряжение ОАО «РЖД» №242 // 2011 – С. 72.
46. Болотин, М.М. Отказы и срок службы грузового вагона [Текст] / М.М. Болотин, В.Г. Воротников // Мир транспорта – 2012. – №2. – С. 152 – 161.
47. Петровых, В.А. Оптимизация назначенного срока службы полувагона по критерию безубыточности эксплуатации [Текст] / В.А. Петровых, Т.В. Иванова, Д.Г. Налабордин // Вагоны и вагонное хозяйство – 2014. – №1. С. .
48. Куренков, П.В. Инфраструктура железных дорог России и регулировка вагонных парков [Текст] / П.В. Куренков, Ф.И. Хусаинов // Экономика железных дорог – 2013. – №9. – С. 35 – 47.
49. Бельницкий, Д.С. Организация перевозок центром координации работы с компаниями-операторами [Текст] / Д.С. Бельницкий, П.В. Куренков // Экономика железных дорог – 2007. – №2. – С. 55 – 63.
50. Положение о системе технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, допущенных в обращение на железнодорожные пути общего пользования в международном сообщении [Текст] / Дирекция совета по железнодорожному транспорту государств-участников содружества, научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. – Москва, 2012. – 14 с.

51. Данилов А.А. Повышение эффективности организации производства системы эксплуатации и ремонта подвижного состава на основе мониторинга технического состояния грузовых вагонов: дисс. ...канд. тех. Наук: 05.22.01 / Данилов Алексей Александрович. – Н., 2005. – 128 с.

52. Савчук, В.Б. Анализ влияния технико-экономических характеристик грузовых вагонов на уровень их цен [Текст] / В.Б. Савчук, К.О. Кострикин // Транспорт Российской Федерации – 2011. – №3. – С. 24 – 27.

53. Зябиров, Х.Ш. Вагон – кормилец [Текст] / Х.Ш. Зябиров // Вагоны и вагонное хозяйство – 2005. – №1. – С. 2 – 6.

54. Малышев, Ю.В. Новая система оценки качества ремонта [Текст] / Ю.В. Малышев // Вагоны и вагонное хозяйство – 2009. – №3. – С. 10 – 12.

55. Шпади, Д.В. Через совершенствование технических характеристик – к повышению потребительских свойств грузового вагона [Текст] / Д.В. Шпади // Вагоны и вагонное хозяйство – 2009. – №2. – С. 4 – 5.

56. Серый, В.Ф. О техническом обслуживании и ремонте собственных грузовых вагонов [Текст] / В.Ф. Серый // Вагоны и вагонное хозяйство – 2005. – №1. – С. 7 – 6.

57. Почиталов, Ю.В. Выбор параметров полувагона из алюминиевых сплавов [Текст] / Ю.В. Почиталов, К.В. Кякк // Вагоны и вагонное хозяйство – 2010. – №2. – С. 40 – 43.

58. Клобуков, С.В. Единая технология технического обслуживания составов на сортировочной станции [Текст] / С.В. Клобуков // Вагоны и вагонное хозяйство – 2010. – №3. – С. 26 – 29.

59. Сакеев, А.И. Итоги работы вагонного хозяйства за 1-ое полугодие 2010 года [Текст] / А.И. Сакеев // Вагоны и вагонное хозяйство – 2010. – №3. – С. 2 – 5.

60. Устич, П.А. Экономический расчет периодичности плановых ремонтов грузовых вагонов [Текст]: методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Вагонное хозяйство» / А.А. Ивагнов, И.В. Плотников, П.А. Устич – М.: МИИТ. 2006. – 44 с.

61. Вологодина Л.Б. Совершенствование системы обеспечения безопасной эксплуатации грузовых вагонов на основе информационных технологий: дисс. ...канд. тех. Наук: 05.22.07 / Вологодина Людмила Борисовна. – М., 2004. – 190 с.

62. Шикина Д.И. Оптимизация нормативного срока службы и системы технического обслуживания и ремонта вагона с учетом качества его ремонтов (на примере полувагона): дисс. ...канд. тех. Наук: 05.22.07 / Шикина Дарьяна Игоревна. – М., 2012. – 225 с.

63. Антонов, А.В. Системный анализ. [Текст] Учебник для вузов / А.В. Антонов. – 2-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2006. – 454 с.

64. Кашковский, В.В. Методика назначения пробега вагонов между ремонтами [Текст] / В.В. Кашковский // Известия Транссиба – 2013. – №1. – С. 117 – 125.