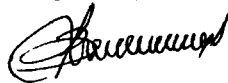


№ 7 100 01 1111  
На правах рукописи



**ИВАНОВ**

**ВАЛЕРИЙ НИКОЛАЕВИЧ**

**ПРИЧИНЫ НЕПЛАНОВЫХ РЕМОНТОВ И  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ  
ЛОКОМОТИВОВ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2005г.

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении  
высшего профессионального образования «Петербургский  
государственный университет путей сообщения».

Научный руководитель –

Доктор технических наук, профессор

**СТРЕКОПЫТОВ Виктор Васильевич**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

**ЧЕРНЯКОВ АНАТОЛИЙ АНДРЕЕВИЧ**

кандидат технических наук, доцент

**ЗЕЛЕНЧЕНКО АЛЕКСЕЙ ПЕТРОВИЧ**

**Ведущее предприятие** – Всероссийский научно-исследовательский  
институт железнодорожного транспорта (г. Москва).

Защита состоится 29 июня в 13<sup>30</sup> часов на заседании диссертационного  
совета Д 218.008.05 при Петербургском государственном университете  
путей сообщения по адресу: 190031, Санкт-Петербург, Московский пр.,  
д.9, ауд.5-407.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Петербургского  
государственного университета путей сообщения.

Автореферат разослан «        » мая 2005 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д.т.н., профессор



В.А.Кручек

Подписано к печати  
Печать - ризография.  
Тираж 100 экз.

06.05.05г.  
Бумага для множит. апп  
Заказ № 555.

Печ.л. – 1,5  
Формат 60x84 1\16

СП ПГУПС

190031, С-Петербург, Московский пр 9

2006-4  
6975

2144263

## 1. Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** Переход железнодорожного транспорта России в новую организационно – правовую форму закончился образованием ОАО «РЖД». Крупнейшая транспортная компания работает в условиях жесткого конкурентного давления и занимает не самые выгодные позиции.

Серьезной проблемой является и высокая доля морально устаревших фондов, в том числе и в локомотивном хозяйстве. Спроектированные в соответствии с требованиями своего времени они ориентированы на низкую стоимость производства и высокие эксплуатационные затраты. При этом конструкция и состояние локомотивного парка, и техническая оснащенность ремонтных предприятий не отвечают современным требованиям. Это не способствует качественному содержанию и эффективному использованию основных производственных фондов.

Вновь созданная корпорация нуждается в развитии качественной производственной базы на основе современного подвижного состава, соответствующего развитию техники, условиям обслуживания, эффективной системы управления и интенсивной политики.

Диссертация посвящена вопросам повышения надежности и результативности использования тягового подвижного состава, сокращению материальных затрат связанных с проведением всех видов технического обслуживания и ремонта.

**Объект исследования** – локомотив.

**Предмет исследования** – система обслуживания локомотивов.

**Цель настоящей работы.** Обоснование новых методов обслуживания локомотивов, показав необходимость замены планово предупредительного ремонта прогрессивными системами.

Поставленная цель потребовала решения ряда задач



- проведение анализа статистического материала по внеплановым ремонтам локомотивов и связанных с ними эксплуатационных показателей;
- выявление причин неплановых ремонтов локомотива;
- анализ причин неплановых ремонтов по критерию случайные или систематические;
- построение стохастических моделей методов ремонта – планово-предупредительного и «по потребности».

**Общая методика исследований** В работе использовались методы обработки и анализа большого количества официального статистического материала за период в несколько десятков лет на основе теории вероятностей и теории массового обслуживания на базе системного анализа отечественного и зарубежного производства, имеющего отношение к рассматриваемому вопросу.

**Научная новизна** Автор работы защищает выдвинутое им положение о периодических ремонтах, как фактических причинах отказов локомотивного оборудования, разработанные математические модели потоков отказов и вероятностные модели восстановления и диагностирования локомотивов.

**Практическая ценность.** Показано, что с рассматриваемой проблемой связаны излишние затраты на содержание локомотивов, исчисляемых десятками миллиардов рублей. Даже частичное решение проблемы может дать экономию в сотни миллионов рублей.

**Достоверность** Работа базируется на данных официальных документов МПС и использовании известных математических методов. Основные выводы носят качественный характер и принципиально согласуются с опытом зарубежных железных дорог.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации доложены на конференции «Управление предприятиями локомотивного хозяйства

Deutsche Bahn AG в условиях начала реформы Немецких железных дорог» ФРГ, г.Гамбург, 1994г.; научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии и технические средства на Октябрьской железной дороге» г. Санкт-Петербург, 1999г.; конференции МПС « Организация обеспечения безопасности движения поездов в локомотивном хозяйстве отрасли» г. Сольвычегорск, 2000г; конференции МПС «Реорганизация ремонта и эксплуатации подвижного состава» г. Щербинка, 2001г.; юбилейной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения д.т.н., профессора Гаккель Е.Я. «Новое в конструкции и технологии обслуживания локомотивов» г. Санкт-Петербург, 2003г.; XV международной конференции «Проблемы развития рельсового транспорта»г. Ялта, 2003г.; кафедре «Локомотивы и локомотивное хозяйство», ПГУПС, 21 апреля 2005г.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 5 научных работ.

**Структура и объем работ.** Диссертация состоит из вводной части, четырех глав основного текста с выводами, общего заключения, списка литературы из 67 наименований.

Объем работы составляет 119 страниц текста, включая 17 рисунков, 9 таблиц, 6 страниц списка литературы и 11 приложений на 16 страницах.

## **Основное содержание работы**

### **Введение**

С течением времени расходы на поддержание локомотивов в работоспособном состоянии растут. Значительную часть расходов определяет способ эксплуатации, обслуживания и ремонта локомотивов.

По оценке, произведенной несколько лет назад, в течение 3-4 лет затраты осуществляемые для поддержания локомотива в работоспособном состоянии составляют его строительную стоимость. Большую часть расходов на восстановление работоспособности локомотивов определяет выбранный метод их восстановления. Системы ремонтов, в поисках оптимальных, за последние десятилетия прошли ряд изменений.

До середины 30 годов ремонт паровозов осуществлялся «по потребности». В 1936-38 годах при ремонте паровозов стали применять планово-предупредительную систему ремонтов, что сразу же сказалось на ухудшении их технического состояния. Позднее были испробованы методы нормирования ремонтов по расходу топлива для тепловозов, электроэнергии для электровозов.

В результате вернулись к планово-предупредительному ремонту, хотя недостатки его были ясны еще в тридцатые годы.

В настоящее время возникла иллюзия, что, используя современные автоматические и микропроцессорные системы для диагностики, можно отслеживать состояние агрегатов локомотивов и производить ремонт «по потребности», значительно уменьшив объемы ремонтных работ и соответственно их стоимость.

В работе показано, что ремонт по потребности, с использованием результатов диагностирования состояния объекта, может дать результат только при известном сроке его службы.

Работы отечественных ученых, связанные с ремонтом и эксплуатацией локомотивов, весьма разнообразны и многочисленны. Вопросам организации ремонта, технологии его проведения, посвящена наибольшая часть опубликованных ранее работ отечественных ученых Алехина С.В., Бородина А.П., Гороховникова Л.М., Подшивалова Д.Н., Иунихина А.И., Рахматуллина М.Д., Скиба И.Ф., Тищенко А.И., Шишкова А.Д., Яковлева Г.Ф. и других.

С возникновением интереса по применению теории надежности к локомотивам и методам их эксплуатации, появились глубокие, содержащие обоснованную теоретическую базу работы, посвященные анализу существующих и оптимальных систем обслуживания и ремонта локомотивов. Это работы Войнова К.Н., Григоренко В.Г., Зеленченко А.П., Исаева И.П., Косова Е.Е., Машнева М.М., Павловича Е.С., Просвирина Ю.Е., Стрекопытова В.В., Тартаковского Э.Д., Чернякова А.А., Четвергова В.А. и многих других, успешно работающих в этой области до сегодняшнего дня.

Особенностью работ перечисленных авторов, можно считать привязанность их к существующей планово-предупредительной системе ремонтов, попыткой обосновать, оправдать, усовершенствовать ее. В этом же направлении развивается и теория применения диагностических методов при ремонте локомотивов.

Зарубежный опыт эксплуатации и ремонта имеется и доступен, однако в силу своего принципиального отличия от отечественного, вызывает в ряде случаев недоверие и суждение о невозможности его применения на Российских железных дорогах. Однако, изучение опыта ремонта локомотивов за рубежом, дает возможность произвести сравнение с собственным опытом обслуживания.

В предлагаемой работе обработано большое количество статистического материала, источником которого являлись анализы технического состояния локомотивного парка по сети железных дорог России, составленные Департаментом локомотивного хозяйства на основании данных локомотивных служб дорог. Показано, что в «чистом виде» система планово-предупредительного ремонта не обеспечивает исправного состояния локомотивов, в ней обязательно присутствует ремонт «по потребности», выражающийся в неплановом ремонте. Используемая десятки лет система планово-предупредительного ремонта,

по сути, не является системой т.к. не может существовать без дополнительных неплановых ремонтов.

Предложены стохастические математические модели, которые наглядно характеризуют способности системы ремонтов и дают возможность для выбора путей их улучшения, совершенствования и вероятности получения желаемого результата. Проведенный обзор работ, посвященных организации, планированию, периодичности и объемам ремонтов локомотивов показал, что, несмотря на их разнообразие, все они посвящены анализу и попыткам совершенствования существующих методов, которые, как показывает практика, результатов не дают.

Консервативная ремонтная система, основанная на применении в основной массе ручного труда, не может обеспечить выполнение необходимых работ, объем которых, точность выполнения, сложность, потребность в новом мерительном и контрольном инструменте непрерывно растет.

Можно сказать, что система ремонта и обслуживания локомотивов должна всегда соответствовать общему развитию техники, технологии и экономики страны.

Рассмотрены вопросы срока службы агрегатов и самого локомотива. Показано, что сроки службы агрегатов, не совпадающие по времени друг с другом и сроком службы самого локомотива, не могут дать в эксплуатации оптимальных затрат на их содержание. Предполагаемые большие сроки службы локомотива требуют и большого количества «тяжелых» видов ремонта, которые не только экономически не выгодны, так как отвлекают материальные и трудовые ресурсы страны, но и тормозят развитие ремонтируемой техники.

В общем случае можно сказать, что плано-предупредительная система ремонта локомотива, обеспечивает его вечное существование на уровне техники года его выпуска.

Рассмотрению подвергнуты основные вопросы, возникающие при эксплуатации и ремонте на настоящее время, связанные как с объективными так и субъективными обстоятельствами в депо и других предприятиях локомотивного хозяйства.

В развитие разработанной темы ставится ряд вопросов, от решения которых зависит надежность тягового подвижного состава:

- кем и как определяются требования к новому локомотиву;
- почему новые серии локомотивов испытываются на пригодность к эксплуатации организациями МПС, а не локомотивостроительными заводами, обязанными выпускать испытанную готовую продукцию;
- чем объяснить многосерийность продукции одного и того же назначения, выпущенной одним и тем же заводом;
- почему запасные части для локомотивов изготавливаются предприятиями МПС, а не заводами изготовителями агрегатов и т.д.;
- как определяются и обосновываются объемы ремонтов новых локомотивов и их срок службы.

## **Глава 1. «Надежность локомотивов Российских железных дорог»**

Содержит основной статистический материал. В главе приведены и рассмотрены существующие способы и методы учета надежности локомотивов, осуществляемые в линейных организациях дорог.

Из приведенных в работе официальных документов следует, что отчетности по данному вопросу уделяется большое внимание. Однако, корректирующие мероприятия, разработанные на основании анализа отказов и их последствий, не обеспечивают требуемой надежности локомотивов. Зачастую, на предприятиях вспоминают о разработанных мероприятиях, когда резко ухудшается качество работы

Показана динамика изменений пробегов между ремонтами и количества самих ремонтов с течением времени. Приведены виды и назначения технического обслуживания эксплуатируемых локомотивов и их ремонтов, а также сравнение показателей надежности локомотивов.

Таблица 1.

Неплановые ремонты локомотивов (по годам).

Год	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968
Неплановых ремонтов на млн.км	52,4	52,2	46,6	44,4	35,9	27,5	27,5	27,5
Год	1998	1999	2000	2001	2002	2003		
Неплановых ремонтов на млн.км	35,3	31,7	25,5	21,9	17,77	18,10		

Текст содержит ряд таблиц, характеризующих надежность и качество восстановления локомотивов. Наиболее показательные данные, приведены в таблицах 1 и 2. В анализах неплановых ремонтов присутствуют «прочие причины», как правило, они тоже есть следствие проведенного ремонта.

Подтверждается предположение, что основным источником неплановых ремонтов является ранее выполненный ремонт

Произведена приблизительная оценка потерь от неплановых ремонтов, исходя из приводимых величин простоя (млн. часов), стоимости локомотиво-часа (2500 р) и прямых затрат на ремонт.

Таблица 2

## Неплановые ремонты (по виновности в процентах)

Дороги	Неудовлетворительное качество ТР и ТО		Неудовлетворительное ТО и нарушение режимов управления		Прочие причины	
	Причины неплановых ремонтов %					
	12 месяцев					
	2002	2003	2002	2003	2002	2003
1.Окт.	48,2	64,8	10,5	14,6	41,2	20,6
2.Кал.	31,6	6,3	5,3	0,0	63,2	93,8
3.Моск.	29,7	38,3	4,2	5,2	66,1	55,4
4.Горьк.	40,8	40,4	9,0	16,4	50,2	43,1
5.Сев	42,4	39,8	18,0	21,7	39,6	38,5
6.С-Кав	49,8	44,3	8,1	16,8	42,2	38,9
7. Ю Вост.	34,6	46,9	6,3	7,1	59,1	46,0
8.Прив.	47,2	50,6	11,9	11,5	41,0	37,9
9.Кбш.	42,0	51,7	11,5	3,5	46,5	44,8
10.Сверд.	60,4	54,5	3,3	3,8	36,3	41,7
11.Ю-Ур.	48,2	51,7	12,1	11,6	39,7	36,7
12.3-Сиб.	47,1	45,6	23,5	17,1	29,4	37,3
13. Крас.	68,0	63,0	15,5	9,8	16,5	27,2
14.В-Сиб	30,5	64,3	15,9	11,4	53,7	24,3
15.Заб.	17,1	15,3	6,4	4,8	76,5	80,0
16.Двост.	81,5	82,7	15,7	15,7	2,8	1,6
17.Сах.	87,5	100,0	4,2	0,0	8,3	0,0
По сети ж.д	46,7	46,0	11,0	11,5	42,3	42,6

## Глава 2. Источники отказов оборудования локомотивов.

Рассмотрена качественная сторона явлений, вызывающих неплановые ремонты (отказы оборудования локомотивов).

Создание надежных конструкций зависит от того, насколько в них учтен такой фактор, как заданная долговечность. Однако, при выпуске с завода не известен не только срок службы самого локомотива, но и всех его базовых деталей и узлов. Причем их ресурс не согласуется ни с ресурсом локомотива, ни друг с другом.

В эксплуатации локомотивы проходят планово-предупредительные ремонты, задачи которых, поддерживать локомотив в работоспособном состоянии. При этом ликвидируются последствия выполненной локомотивом работы: затраченного на это моторесурса и влияния прошедшего календарного времени («возраст» локомотива или отдельных узлов).

При производстве планового ремонта широко применяется агрегатный метод: замена агрегата на новый или заранее отремонтированный. Практика показывает, что по прошествии 10-15 лет эксплуатации на локомотиве из «родных» заводских агрегатов и узлов остаются рама, кузов и номер локомотива. Агрегаты, подвергшиеся замене в свою очередь, имеют различный срок службы (новые, старые годные, старые восстановленные) и, в результате, локомотив никакого определенного возраста не имеет. Его техническое состояние определяется преобладанием деталей и узлов одной из трех перечисленных категорий. Разный срок службы агрегатов вынуждает производить чередование ремонтов, менять их объем, и пробеги между ремонтами. На рисунке 1 приведено схематическое изображение состояния  $P_t$  различных агрегатов локомотива (1, 2, 3, 4, 5, 6) в зависимости от пробега  $t$ . Выполненный в масштабе рисунок 1, дает возможность, определить ожидаемое для узлов

4 и 5 число отказов между  $t_1$  и  $t_2$ , так как отрезки  $B-D'$  для узла 5 и  $B-D'$  для 4 в масштабе дают ожидаемое  $n$ .

Таким образом, первый поток отказов возникает в результате различного срока службы агрегатов, установленных на локомотив.

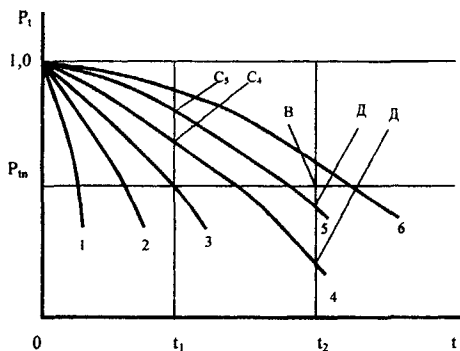


Рис. 1. Изменение  $P_i$  узлов «нового» локомотива

К внешним условиям эксплуатации можно отнести и способы обслуживания локомотива бригадами, квалификацию обслуживающего персонала.

К эксплуатационной нагруженности могут быть отнесены профиль пути, наличие тоннелей, особенно длинных, веса поездов, скорости движения и т.д. Все эти параметры влияют на состояние локомотива и в первую очередь на предпосылки для возникновения отказов.

Таким образом, причиной второго потока отказов, является пренебрежение к влиянию внешних условий и эксплуатационной нагруженности на локомотивный парк.

В настоящее время объемы и технология проводимых плановых ремонтов определяются правилами заводского и депоовского ремонтов. Из ежегодных анализов технического состояния локомотивного парка видно,

Надежность локомотива зависит и от того, насколько при его проектировании были учтены такие факторы, как влияние окружающей среды и эксплуатационная нагруженность.

Это понятно, так как эксплуатация механизмов в жарком климате пустыни отличается от его работы в арктических условиях.

что до 100% фиксируемых неплановых ремонтов относится за счет проведенных ранее ремонтов.

Наиболее характерным является появление отказов после разборки агрегата с целью его ревизии или ремонта. При замене отказавших деталей или узлов, другими имеющими разный срок службы различие в возрасте еще более возрастет.

Согласно существующих правил ремонта локомотивов после

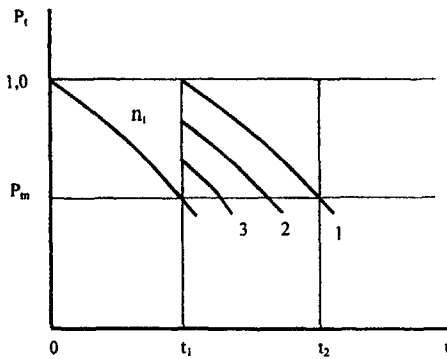


Рис.2. Возможные изменения  $P_i$  узла на плановом (неплановом) ремонте

проведения плановых и неплановых работ может состоять из новых, старых годных и старых восстановленных узлов и деталей (рис.2). Естественно, что все три категории 1, 2, 3 на рисунке 2 имеют различный срок службы и различную вероятность безотказной

работы на момент их постановки на локомотив. Очевидно, что эти категории деталей принесут отказы до постановки локомотива на ремонт.

На рисунке 3, рассмотрен вариант изменения вероятностей безотказной работы группы деталей при восстановлении после непланового ремонта.

Сложив рисунки 1, 2, 3, 4 можно получить изменение  $P_i$  узлов и деталей от всех перечисленных и неучтенных причин в виде сплошной, беспорядочной группы кривых, пересекающихся в любых местах предельный уровень надежности (рис.4).

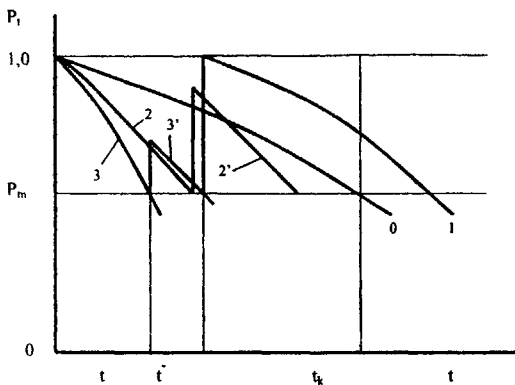


Рис.3. Возможные изменения  $P_i$  после  
непланового ремонта

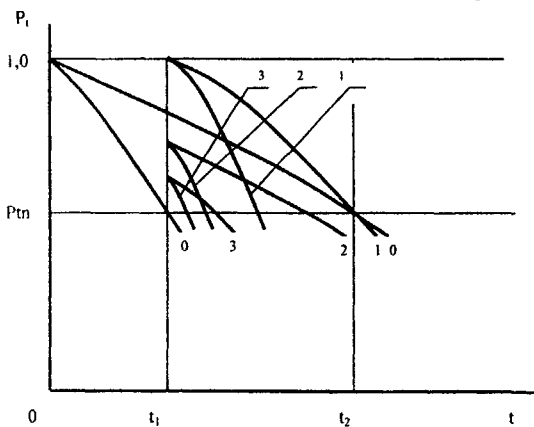


Рис 4 Возможные изменения  $P_i$  с учетом  
групп деталей 1, 2, 3, дефектов  
сборки и приработки

сплошной, беспорядочной группы кривых, пересекающихся в любых местах предельный уровень надежности (рис.4).

Из этого следует, что плановый ремонт теоретически не отличается от непланового, если не сравнивать объемы выполненных работ.

И так третья причина возникновения потока отказов связана с ремонтами, как плановыми, так и неплановыми, разборкой узлов и заменой деталей, имеющих различный «возраст».

Отказы локомотивного оборудования, плановые и неплановые ремонты, объем ремонтов и простой в их ожидании в своей взаимосвязи могут быть полностью описаны с использованием теории массового обслуживания.

Не ставя перед собой исчерпывающее решение перечисленных задач, воспользуемся лишь некоторыми определениями и постулатами теории массового обслуживания для определения вероятностей отказов локомотивного оборудования. В частности, позаимствуем понятие потока событий.

Под потоком событий понимается последовательность событий, происходящих одно за другим в какие то моменты времени. В нашем случае событие отождествлено с отказом оборудования локомотива.

Поток отказов локомотивов полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемых случайному потоку событий:

- поток отказов является стационарным, т.к. вероятность попадания отказов на участок времени зависит только от длины участка и не зависит, в каком месте работы системы он выбран;

- поток отказов является потоком без последствий, т.к. число отказов на любом выбранном участке времени не зависит от их числа на других участках;

- поток отказов является ординарным, т.к. вероятность одновременного возникновения двух, или более событий пренебрежимо мала.

При суммировании (взаимном наложении) большого числа (практически 3-4) ординарных, стационарных потоков получается поток, сколь угодно близкий к простейшему. Имея ряд независимых потоков отказов  $P_1, P_2 \dots P_n$ , вызванных причинами, рассмотренными ранее, произведем их «суммирование», состоящее в том, что все возможные моменты появления отказов сносятся на одну ось, как показано на рисунке 5.

Допустим, что потоки  $P_1, P_2 \dots P_n$  сравнимы по своему влиянию на суммарный поток (т.е. имеют плотности одного порядка). Из чего следует, что число отказов (событий), попадающих на любой фиксированный интервал времени, будет распределено по закону

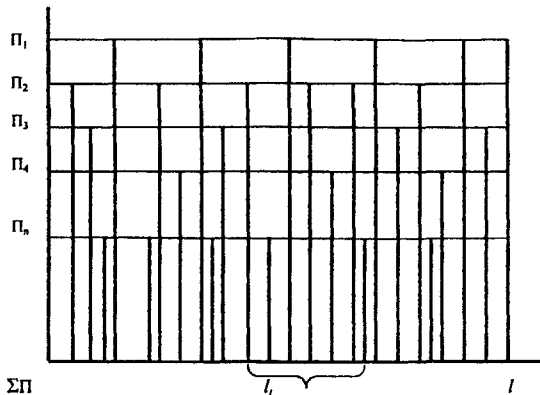


Рис.5. Формирование простейшего, ординарного потока отказов  $\Sigma\Pi$

отказов, ординарным.

Для ординарного потока отказов имеем:

$$Q = 1 - e^{-\lambda l}$$

Возьмем потоки отказов, причины которых изложены в предыдущих параграфах главы 2, предположим, что они независимы и оказывают примерно одинаковое влияние, получим суммарный поток:

$$\Pi = \sum_{k=1}^n \Pi_k$$

Очевидно, что поток  $\Pi$  рис 5 стационарный и ординарный, следовательно, число отказов за выбранные равные участки времени, распределены по закону Пуассона с математическим ожиданием:

$$a = \lambda l, \text{ что при } l = \text{const, возможно лишь при } \lambda = \text{const}$$

Полученный вывод о том, что  $\lambda = \text{const}$ , проверен аналитическим путем.

В процессе эксплуатации локомотивов приходится либо заменять отказавшие элементы при неплановых ремонтах, либо заменять элементы при плановых ремонтах для поддержания требуемого уровня безотказности. Следовательно, наработка, элемента до ремонта, которую

Пуассона. Вероятность появления отказа:

$$P_m = \frac{(\lambda)^m}{m!} \cdot e^{-\lambda}$$

где

$\lambda$  - число отказов на участке;

$m$  - возможное число отказов на выбранном участке, считая поток

будем условно называть «возрастом» элементов в системе, будет различной в зависимости от начала отсчета требуемого интервала времени безотказной работы.

Для одного элемента безотказность будет определяться произведением вероятности того, что к рассматриваемому моменту  $t_0$  элемент будет иметь возраст  $a$ , и вероятности его безотказной работы в течение интервала времени  $t$ , отсчитываемого от момента  $t_0$ . Учитывая, что возраст элемента может изменяться в пределах от 0 до  $\infty$ , это произведение должно быть проинтегрировано на указанном интервале:

$$p_i(t) = \int_0^{\infty} p_i(t/a)g(a, t_0)da = \int_0^{\infty} \frac{p(a, t)}{p(a,)}g(a, t_0)da,$$

где  $g(a)$  — плотность вероятности возрастов элементов.

Для упрощения анализа воспользовались усредненными характеристиками безотказности элементов, считая, что характеристики всех элементов одинаковы. Для системы, состоящей из одинаковых элементов,

$$P(t) = \left[ \int_0^{\infty} p(t/a)g(a, t_0)da \right]^n$$

Как следует из уравнения, безотказность восстанавливаемой системы зависит от количества элементов, безотказностей элементов, «возраста» системы и правила эксплуатации, которые характеризуются плотностью вероятности возрастов элементов.

Воспользовавшись правилом раскрытия неопределенности, после дифференцирования числителя и знаменателя выражения получили

$$\lim_{s \rightarrow 0} \left[ -s - \frac{\varphi(s)}{\varphi'(s)} \right] = \frac{1}{T}$$

При этом учтена производная от изображения плотности.

$$\varphi'(s) = \frac{d}{ds} \int_0^{\infty} e^{-st} \varphi(t) dt = - \int_0^{\infty} e^{-st} t \varphi(t) dt$$

Таким образом, установившееся значение плотности вероятности ремонтов (частота замен) равно величине, обратной среднему времени безотказной работы элемента  $T$  независимо от вида закона безотказности, что и требовалось доказать. Интенсивность отказов можно считать величиной постоянной.

### **Глава 3. Модели систем ремонтов локомотивов.**

Очевидно, что любая система ремонтов, как процесс, может быть описана математически – составлена ее математическая модель.

При любой системе ремонтов имеется две случайных величины: состояние локомотива, поступающего в ремонт, и возможности ремонтной базы на данный период времени выполнить необходимый для локомотива объем ремонта, полностью восстанавливающий его исправность и способность без межпоездных ремонтов дорабатывать до следующего планового ремонта. Состояние локомотива в любой период времени величина, безусловно, случайная.

Выбираем для оценки состояния локомотива условное время, необходимое для его полного восстановления, до идеального состояния.

Состояние ремонтной базы (ее способность выполнить полный объем необходимых для восстановления исправного состояния локомотива) так же величина случайная, зависящая от многих факторов, технического оснащения, состояния оборудования, квалификации работающих, климатических условий и т.д.

Существующая практика нормирования времени простоя в ремонте еще более обостряет влияние перечисленных факторов, влияющих на вероятность полного восстановления локомотива.

Выберем для характеристики способности ремонтной базы время, необходимое для полного восстановления локомотива, попавшего в депо с

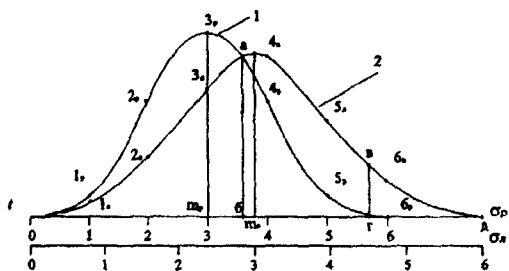


Рис. 5. Кривые распределения, характеризующие состояние ремонтной базы (1), локомотивов на ремонт.

Из рисунка 5 видно, что полученные вероятности выполнения необходимого ремонта, характеризуемые площадями, охватывают все возможные соотношения состояния локомотивов и возможностей ремонтных баз. Необходимая работоспособность локомотивов может быть восстановлена не всегда.

Часть локомотивов (пл. а, в, г, а) не получает необходимого ремонта. В результате происходит накопление неисправностей, ведущее к ухудшению технического состояния локомотивного парка и, как следствие, к возникновению отказов и росту unplanned ремонтов. Возникает и действует далее система, именуемая в математике и теории надежности системой с накоплением нарушений, которая характеризуется непрерывным ростом частоты отказов и очень быстро становится экономически нецелесообразной для дальнейшей эксплуатации.

$$P_t = P_0(1 - a)^t$$

$a$  - процент локомотивов, недополучивших необходимого объема ремонта, может быть определен по рисунку 5.

В заводских условиях производится полная разборка всех узлов и

агрегатов локомотива. При выпуске из ремонта локомотив состоит из новых, старых годных и старых восстановленных деталей. Причем процент новых деталей ограничивается. Возрастает процент старых восстановленных, зависящий от уровня производства на заводе. Количество восстановленных на заводе деталей составляет большинство из перечисленных ранее групп.

Это увеличивает вероятность возникновения приработочных отказов, которые напрямую зависят, в данном случае, от качества выполнения работ, эффективности контроля и квалификации работников.

Результативным действием может быть только сокращение объема ремонта, в первом приближении, замена агрегатов и узлов новыми.

По предлагаемой модели ремонта можно сделать вывод, что наиболее эффективным может быть только ремонт на заводе изготовителе, когда основная масса агрегатов заменяется на новые.

Подобная система широко применяется на зарубежных железных дорогах и имеется положительный опыт ее применения на отечественных.

Одновременно (рис.5) учитывается процент локомотивов, восстановление которых, нецелесообразно.

Полученная математическая модель ремонта «по потребности» показывает, что для успешного использования ремонта по результатам диагностики, необходимо выполнение основного условия надежной работы изделия: наличие проектного срока его службы. В таком случае, целью диагностирования является выявление состояния оборудования локомотива не способного обеспечить заданной долговечности.

На рисунке 6 представлена кривая изменения математического ожидания  $P_r$  агрегата. Естественно, в зависимости от различных случайных факторов, состояние одноименных агрегатов будет иметь некоторое рассеивание от расчетного срока службы  $T_p$ , в результате чего реальный

срок службы будет изменяться в пределах  $t_{po}$  до  $t_{pl}$  при монотонном изменении параметра.

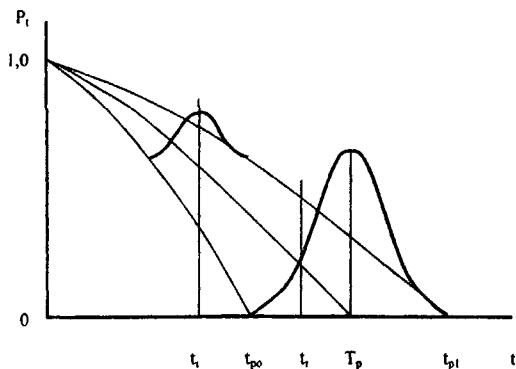


Рис.6. Вероятностные значения параметра агрегата, имеющего расчетный срок службы

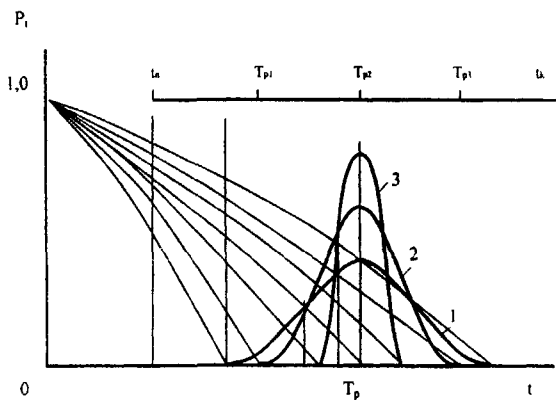


Рис.7. Вероятностные значения параметра агрегата, имеющие различные отклонения в процессе работы

Произведя диагностирование агрегата (его параметров) во время  $t$ , можно в итоге получить результаты, характеризующие динамику изменения  $P_i$  и принимать меры по восстановлению тех параметров, которые имеют отклонение от  $P_i$  в сторону  $t_{po}$ . Для суждения о состоянии достаточно двух-трех измерений за срок службы.

Рисунок 7 характеризует состояние объекта, составные части которого при одинаковом сроке службы  $T_p$ , имеют различные возможные отклонения.

Это, очевидно, требует большего количества диагностических замеров за срок службы, для создания реальной картины конечного отклонения.

Рисунок 8 характеризует существующее состояние локомотивов, агрегаты которых при разных сроках службы имеют к тому же еще и различные показатели рассеивания. В таком случае диагностирование агрегатов уже бесполезно (см. так же рис.4.).

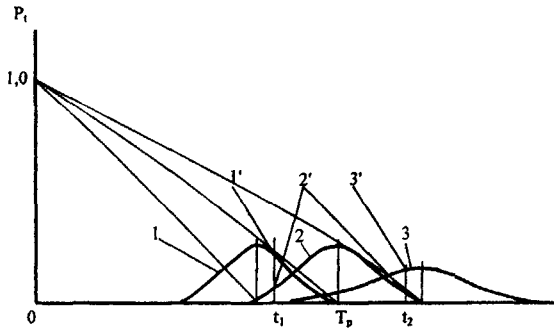


Рис.8. Вероятностные значения параметров при различных  $T_p$  и рассеиваниях.

#### Глава 4. Пути изменения существующей системы обслуживания локомотивов.

Рассмотрены основные задачи локомотивостроительных заводов, начиная со стадии проектирования локомотива – унификация узлов и локомотивов, установление срока работы, учет возможности обслуживания, высокая ремонтпригодность. Также, подвергнуты рассмотрению задачи локомотиворемонтных заводов.

Более подробно рассмотрены задачи эксплуатационных организаций. Для достижения удовлетворительной надежности локомотивов предлагается устранить существующую совокупность факторов, в основе которых, в большинстве случаев, лежат системные проблемы в области

управления, которые влияют на сложившийся уровень технического состояния тягового подвижного состава.

Системные проблемы можно разрешить только системными мерами. Поэтому одним из основных направлений работы является отладка деятельности локомотивного хозяйства на базе современных технологий управления, основанных на системе менеджмента качества и международном стандарте ИСО 2000.

### **Выводы по работе**

1. Приказные, инструкционные и отчетные документы, а так же приведенные статистические данные из отчетов дорог и МПС убеждают, что внимание к вопросу надежности локомотивов всегда уделялось достаточно.

Однако анализ отчетных документов говорит о том, что ощутимых результатов и практических сдвигов в улучшении состояния локомотивов за последние 50 лет не наблюдается, хотя ежегодные показатели как правило меняются в лучшую сторону.

В подавляющем большинстве случаев причина возникновения непланового ремонта устанавливается как следствие ранее выполненного (невыполненного) ремонтов.

Неоправданные затраты, вызываемые неплановыми ремонтами локомотивов, исчисляются десятками миллиардов рублей.

2. Рассмотрение причин отказов локомотивного оборудования, дает основание утверждать, что частота возникновения внеплановых ремонтов может быть выражена потоком Пуассона и практически постоянна в течение времени эксплуатации локомотива. Составляющих потока отказов достаточно много, однако наибольшее определяющее значение имеет способ обслуживания локомотивов ремонтом.

3. Используя вероятностные математические модели для описания методов ремонта локомотивов, получено подтверждение того, что планово-предупредительный метод ремонта не обеспечивает его выполнение, а является типичной системой с накоплением нарушений, что подтверждает статистические данные о большом количестве внеплановых ремонтов.

4. Намечаемая ко внедрению и идеализируемая система ремонта по потребности с объемом ремонта, определенным с использованием диагностических установок специального назначения, при существующем положении в локомотивном хозяйстве России положительных результатов дать не может, так как основными условиями применения технической диагностики локомотивов является не определение объема ремонта, а определение состояния с целью определения возможности обеспечения гарантийного срока работы.

5. Экономически оправданной системой обслуживания локомотивов может быть только система, не содержащая ремонтов, ограничивающаяся обслуживанием, которое может выполнить ремонтные работы, как исключение. Плановые ремонты, связанные с восстановлением и заменой отдельных деталей и узлов, не соответствуют современному развитию общества и технических средств и являются «тормозом» технического прогресса в отрасли.

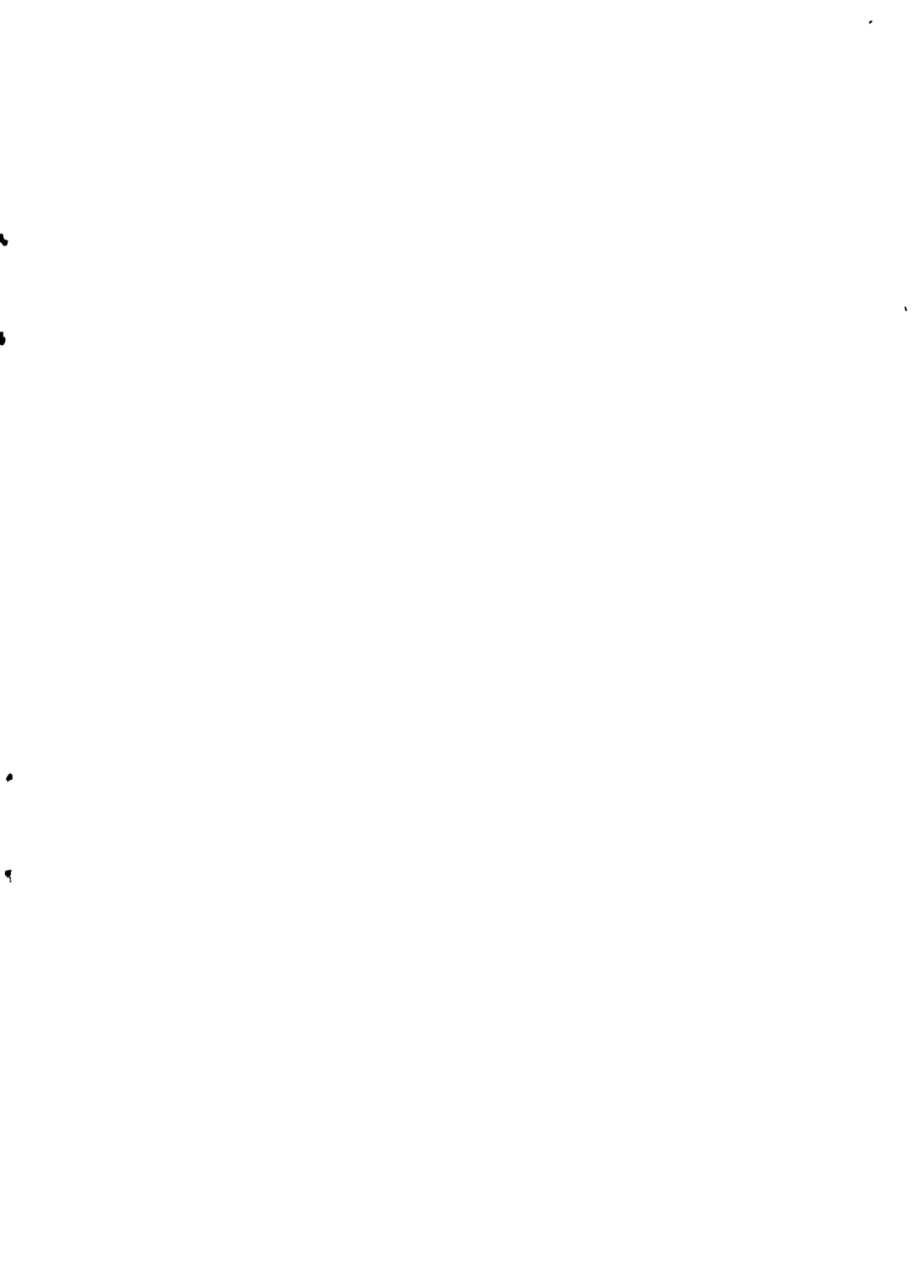
6. Предлагаемые и рассмотренные пути усовершенствования системы обслуживания локомотивов носит весьма «глобальный» характер. Учитывая ожидаемый экономический эффект, связанный с этой проблемой, а он исчисляется десятками миллиардов рублей, даже частичное её решение весьма эффективно.

Однако, говоря о частичном решении проблемы, автор считает, что решать ее надо в комплексе с доведением результата до современного

уровня управления и экономики. Тем более, что в настоящий момент, есть все необходимые для обновления локомотивного хозяйства условия.

**Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:**

1. Иванов В.Н. Применение модернизированных на дизель Д-49 тепловозов 2М62, 2ТЭ10 в локомотивных депо Великие Луки, Петрозаводск. // Тезисы докладов научно-практической конференции, «Ресурсосберегающие технологии и технические средства на Октябрьской железной дороге» СПб, ПГУПС, 18-19 марта 1999г. – СПб: ПГУПС, 1999. – С 51 – 52.
2. Иванов В.Н. Повышение эффективности эксплуатации локомотивов в книге «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» Гомель, БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ 2003г. Гомель:БГТУ, 2003. ч1, С.10 - 21.
3. Иванов В.Н. Совершенствование организации работы локомотивного хозяйства. // Тезисы докладов XV международной конференции «Проблемы развития рельсового транспорта» Ялта ВОСТОЧНО-УКРАИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И.ДАЛЯ, 2003 г. – Ялта: ВУТУ, 2003. - С.12 - 13.
4. Иванов В.Н. Моделирование систем ремонта тепловозов. // Тезисы докладов юбилейной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения д.т.н., профессора Гаккель Е.Я. СПб, ПГУПС, 2003г. – СПб: ПГУПС, 2003 – С.8-9
5. Стрекопытов В.В., Иванов В. Н. Теоретический анализ существующей системы ремонта. // Сб. науч. тр. /СПб, ПГУПС, 2003. – С 105 -109.



№10010

РНБ Русский фонд

2006-4

6975