На правах рукописи

**ПУСТОВОЙ Илья Владимирович**

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СЕРВИСНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ И РЕМОНТОМ ЛОКОМОТИВОВ

05.02.22 – Организация производства (транспорт)

## Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

ОМСК – 2018 г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования

«Омский государственный университет путей сообщения» (ОмГУПС)

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

**ЧЕРЕМИСИН Василий Титович,** доктор технических наук, профессор

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

**КИСЕЛЁВ Валентин Иванович**,

доктор технических наук, профессор, профессор федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II»

**КУРИЛКИН Дмитрий Николаевич,**

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Локомотивы и локомотивное хозяйство» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения».

Защита состоится «       » \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2018 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 218.013.02 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» в ауд. Б2-15 (зал диссертационных советов) по адресу: 620034 Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения». Адрес сайта, на котором размещена диссертация и автореферат: http://www.usurt.ru

Автореферат разослан « » февраля 2018 г.

Отзывы на автореферат, в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по почте в адрес диссертационного совета Д 218.013.02.

Тел./факс: (343) 221-24-44; *e-mail:* *NSirina@usurt.ru*

Ученый секретарь диссертационного совета,

доктор технических наук, доцент Н.Ф.СИРИНА

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Новая организация производства на базе современных информационных технологий – одна из ключевых задач, стоящих перед отечественной экономикой (Государственная программа «Информационное общество (2011 – 2020 гг.)», постановление правительства РФ от 15.04.2014 № 313). Это в полной мере касается железнодорожного транспорта - важнейшего элемента транспортной инфраструктуры России, стратегия научно-технического развития которого на период до 2020 г. и перспективу до 2025 г. определена в «Белой книге» компании от 2015 г.

Локомотивный комплекс – второе по затратам (наряду с инфраструктурой) хозяйство ОАО «РЖД». Расходы на тягу поездов составляют треть всех эксплуатационных расходов компании. Значительная их часть – это расходы на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР). С 2014 года техническое обслуживание и ремонт локомотивов осуществляются в сервисных компаниях, которые получают доход от объёма выполненной работы: километров пробега для магистральных и часов работы для маневровых локомотивов. Экономические аспекты, изношенность большого количества локомотивов, устаревшие производственные технологии локомотиво-ремонтного комплекса, проблемы с обеспечением материалами и комплектую-щими изделиями и с неснижаемым запасом агрегатов, узлов и сборочных единиц, отсутствие контроля фактического технического состояния локомотивного парка являются проблемными вопросами.

Обеспечение качества и эксплуатационной надежности локомотивов во многом достигается за счет повышения эффективности функционирования производственных процессов их технического обслуживания и ремонта посредством совершенствования организации деятельности сервисных пред-приятий, создания и применения методов и средств мониторинга на основе использования новых информационных технологий и экспертных систем поддержки принятия решений, информатизации и компьютеризации производ-ственных процессов, их документального обеспечения на всех стадиях, что и определяет актуальность темы диссертационной работы.

Задачи повышения эффективности локомотиворемонтного производства определены в распоряжениях ОАО «РЖД», в т.ч. № 498р от 26.02.2015 «О введении в действие Технических требований на разработку технологических процессов для технического обслуживания и текущего ремонта локомотивов» и № 2020р от 11.08.2015 «Оптимизированная система технического обслуживания и ремонта локомотивов».

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом научно-технических работ Омского государственного университета путей сообщения (тема НИР № г.р. 01201151856).

**Степень разработанности темы диссертации.** Исследования проблем эффективного функционирования и совершенствования производственных процессов технического обслуживания и ремонта локомотивов, повышения качества производственной деятельности локомотиворемонтных предприятий проводились научными коллективами ВНИИЖТ, ВНИКТИ, ВЭлНИИ, НИИТКД, МИИТ, РГУПС, УрГУПС, ДВГУПС, ИрГУПС, СамГУПС, ПГУПС, ОмГУПС. Значительный вклад в решение названных проблем внесли известные ученые И.П.Исаев, А.В.Горский, А.А.Воробьев, С.Я.Айзинбуд, А.Ю.Балакин, А.В.Воротилкин, И.И.Галиев, В.А.Гапанович, А.Т.Головатый, А.Н.Головаш, Ю.А.Давыдов, А.М.Замышляев, В.И.Киселев, В.С.Коссов, В.Д.Кузьмич, Д.Н.Курилкин, И.К.Лакин, А.В.Плакс, А.К.Пляскин, В.Б.Просвиров, А.Д.Пузанков, А.П. Семёнов, А.В.Скребков, В.Т.Стрельников, Э.Д.Тартаковский, В.П.Феоктистов, В.Т.Черемисин, В.А.Четвергов, Н.Г.Шабалин и другие исследователи.

Анализ основных показателей технического состояния локомотивного парка сети магистральных железных дорог показывает, что остаются высокими показатели простоев на всех видах ремонта, количество отказов и неплановых ремонтов локомотивов. Основными причинами такого положения являются неудовлетворительное качество текущих ремонтов и технических обслуживаний, недостаточный уровень организации и управления производственными процессами при выполнении ремонта, отсутствие контроля технического состояния и нарушение режимов в эксплуатации.

Анализ эксплуатационных показателей работы локомотивов и ключевых показателей качества работы сервисных локомотивных депо подтверждает, что повышение эффективности использования локомотивов (по коэффициентам технической готовности и готовности к эксплуатации) в существенной степени зависит от эффективности управления производ-ственными процессами их технического обслуживания и ремонта.

Для обеспечения надежной работы локомотивов необходимо совершенствовать систему контроля их технического состояния, обеспечивать соблюдение установленных нормативной документацией режимов эксплуатации и своевременное и качественное выполнение текущих ремонтов.

В диссертации развиваются научные основы организации управления производством при техническом обслуживании и ремонте локомотивов применительно к современным условиям: сервисной системе ТОиР, полигонной системе эксплуатации локомотивов, развития информационных технологий.

**Целью диссертационной работы** является разработка информационно-динамической модели управления призводственными процессами технического обслуживания и ремонта локомотивов, повышение эффективности функционирования производственных процессов, создания и применения методов и средств мониторинга на основе использования информационных технологий и экспертных систем поддержки принятия решений.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие **задачи:**

* + - разработать информационно-динамическую модель управления призводственными процессами технического обслуживания и ремонта локомотивов на основе применения вероятностно-статистических методов и новых информационных технологий;
		- разработать алгоритм планирования технического обслуживания и ремонта локомотивов в сервисных предприятиях с использованием новых информационных технологий и методов управления производственными ресурсами;
		- предложить классификатор идентификации отказов деталей, узлов и агрегатов локомотивов по результатам мониторинга их технического состояния и классификатор выполняемых работ по восстановлению их работоспособности;
		- разработать методику принятия решений по определению фактически необходимого объема работ при проведении технического обслуживания и ремонта локомотивов;
		- разработать ключевые показатели эффективности управления производственными процессами технического обслуживания и ремонта локомотивов в сервисных локомотивных депо.

**Объект исследования** – производственные процессы сервисного технического обслуживания и ремонта локомотивов в сервисных локомотиворемонтных предприятиях.

**Предметом исследования** являются организация производственных процессов и эффективность функционирования производственных систем, мониторинг производственных процессов, планирование и управление производственными процессами и их результатами в сервисных локомотиво-ремонтных предприятиях.

**Методология и методы исследования.** При разработке модели использованы методологические подходы теории организации и менеджмента качества, управления организационной надёжностью сложных систем и бережливого производства. При решении поставленных в диссертации задач использованы статистические методы управления жизненным циклом изделий и надёжностью. Аналитическая часть работы выполнена с использованием авторских программ статистического и логического анализа, реализованных на алгоритмическом языке програм-мирования *Visual Basic for Applications (VBA)* *MS Excel.*

**Научная новизна** диссертационнойработызаключается в следующем:

* + - разработана информационно-динамическая модель управления производ-ственными процессами технического обслуживания и ремонта (ТОиР) локомотивов с инкапсулированными вероятностно-статистическими и логическими методами и использованием новых информационных технологий;
		- разработана методмка принятия решений по определению фактически необходимого объёма работ при проведении ТОиР с разработкой системы классификаторов для идентификации отказов деталей, узлов и агрегатов локомотивов по результатам мониторинга их технического состояния;
		- разработаны ключевые показатели эффективности управления производственными процессами технического обслуживания и ремонта локомотивов на основе применения математических методов статистического анализа производственных показателей сервисных локомотивных депо.

**Теоретическая и практическая значимость работы.**

Научно обоснована и разработана информационно-динамическая модель управления техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов (ТОиР), позволяющая повысить эффективность функционирования производственных процессов ТОиР локомотивов посредством совершенствования организации деятельности сервисных предприятий через внедрение специализированной информационно-управляющей системы. Обоснован порядок инкапсулированного использования статистических методов в технологическом процессе ТОиР. Разработан экспертный метод поддержки принятия решений при определении объёма ремонта по исходным данным мониторинга технического состояния и режимов эксплуатации локомотивов и их диагностирования. Разработан метод внутрипроизводственного планирования ТОиР локомотивов. Разработана система классификаторов для практической реализации предлагаемой модели управления. Обоснованы источники технико-экономического эффекта от внедрения Модели.

Предложенная модель управления практически реализована в виде информационно-управляющей системы АСУ «Сетевой график» в восьми сервисных локомотивных депо группы компаний «ЛокоТех».

**Положения, выносимые на защиту:**

* + - информационно-динамическая модель управления производственными процессами технического обслуживания и ремонта локомотивов на основе применения вероятностно-статистических методов и новых информационных технологий;
		- классификатор идентификации отказов деталей, узлов и агрегатов локомотивов по результатам мониторинга их технического состояния и классификатор выполняемых работ по восстановлению их работоспособности;
		- методика принятия решений по определению фактическинеобходимого объёма работ при проведении технического обслуживания и ремонта локомотивов;
		- ключевые показатели эффективности управления производственными процессами технического обслуживания и ремонта локомотивов в сервисных локомотивных депо.

**Степень достоверности результатов** подтверждается: методологической основой исследования, выполненного на актуальных представлениях о процессах организации производства; использованием признанных наработок отечественных и зарубехных учёных; корректностью применения математического аппарата теории вероятностей и статистического моделирования; аргументированным использованием результатов выполненных расчётов и производственно-хозяйственной деятельности лококомтивоного комплекса ОАО «РЖД».

**Апробация работы.** Основные положения, результаты и выводы диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на десяти научно-практических (НПК) и научно-технических (НТК) конференциях: на Шестой и восьмой международных НПК «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (ИрГУПС, г. Иркутск, 2015 г., 2017 г.), Третьей и четвёртой всероссийской НТК с международным участием «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава» (ОмГУПС, г. Омск, 2015 и 2017 гг.), Первой Международной НПК «Локомотивы. Проблемы. Решения. Перспективы» (СамГУПС, г. Самара, 2016 г.), Третьей всероссийской НТК с международным участием «Эксплуатационная надёжность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов» (ОмГУПС, г. Омск, 2016 г.), Четвёртой и пятой Международной НТК «Локомотивы. ХХI век» (ПГУПС, г. Санкт-Петербург, 2016 и 2017 гг.), Второй международной НПК «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов» (МИИТ, «ЛокоТех», 2015 г.), Всероссийской НПК «115 лет железнодорожному образованию в Забайкалье: ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА - ПРОИЗВОДСТВО» (ЗабИЖТ ИрГУПС, г. Чита 2017 г.).

**Публикации.** По результатам проведенных исследований опубликованы девятнадцать научных работ, в том числе три научные статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России. Восемь работ опубликованы без соавторов.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений, списка литературы из 216-и наименований и приложения с разработанными классификаторами. Содержит 187 страниц основного текста, включая 30 таблиц и 74 рисунка.

# СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение** содержит обоснование актуальности темы диссертации, цель и задачи исследований, формулировку научной новизны, теоретическую и практическую значимость работы, положения, выносимые на защиту, обоснованность и достоверность полученных результатов, апробации и публикации работы. Приведена аннотация содержания диссертации.

**Первая глава** посвещена анализу организации производственных процессов технического обслуживания и ремонта локомотивов в сервисных локомотиворемонтных предприятиях рассмотрен уровень технического сосотояния локомотивного парка находящегося на обслуживании в локомотиворемонтных предприятиях сервисной компании.

Проверка достоверности исходных результатов расчётов проводилась по критерию унимодальности, для чего по каждому рассматриваемому показателю рассчитывалось математическое ожидание *mх* выборки данных *xi* в объёме *N* и среднеквадратичное отклонение σ*х*. Предварительно унимодальность проверена визуально по гистограмме. При возникновении «эффекта гребёнки» (последовательное чередование высоких и низких столбцов гистограммы) менялся шаг разбиения на диапазоны (изначально число диапазонов разбиения определялось по правилу Старджесса). Затем проверялась принадлежность выборки теоретическому закону распределения по критерию Пирсона (по хи-квадрат ) путём сравнения практического *∆nj\** и теоретического *∆nj* числа попаданий в *j*-й диапазон для выбранного числа диапазонов разбиения. Выполнен анализ 14 млн данных по девяти новым сериям локомотивов (ЭП1М, ЭП2К, ЭС5К, ЭС4К, ТЭ116У, ТЭ25А, ТЭ25КМ, ТЭП70БС, ТЭМ18ДМ) по четырнадцати депо их сервисного обслуживания.

Для анализа исходные данные представлены в виде Excel-таблиц. Анализ выполнен с использованием программирования на встроенном алгоритмическом языке VBA Excel. Основным результатом статистического анализа является вывод о больших логистических потерях КТГ от ожидания ТОиР – более 50% (рисунок 1). Также большие потери связаны с проведением цикловых ремонтов объёма ТО-2, ТО-3 и ТР-1 – более 15% (рисунок 1). Неплановые ремонты с учётом ожидания и пересылки составляют 23% потерь КТГ.

Выполненный анализ объёма и состава сверхцикловых работ по шести сервисным локомотивным депо (Тюмень, Югра, Барабинск, Боготол-Сибирский, Тында-Северная и Амурское) позволил сделать вывод о необходимости менять существующую организационную модель управления технологическими процессами ТОиР. Необходимо качественно менять систему управления логистикой депо как главной причины перепростоя локомотивов, для чего предложен классификатор состояний локомотив на ТОиР.

Статусы локомотивов

Процент потерь КТГ, %.

***Рисунок 1*** *– Гистограмма распределения средних потерь КТГ локомотивов*

Необходимо переходить от учёта надёжности локомотивов по количеству отказов на единицу измерения работы к учёту всех видов сверхцикловых работ по их продолжительности, требуемой квалификации, затраченным запасным частям и материалам. Это позволит организовать фактическое управление производственными потерями, являющимися прямым следствием низкой надёжности локомотивов.

В результате выполненного статистического анализа обоснованы цель и задачи диссертационного исследования.

**Во второй главе** приведены результаты разработки теоретических предпосылок и методологии управления производственными процессами сервисного обслуживания локомотивов, структуры информационно-динамической модели управления сервисным техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов.Определены теоретические предпосылки организации производственных процессов ТОиР локомотивов. Выполнен анализ современного мирового и отечественного опыта организации управления промышленными предприятиями в целом и сервисным техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР) сложных технических систем в частности. Показана необходимость отказа отказ от существующей технологии учёта и контроля ТОиР с использованием бумажных носителей информации, т.к. ограничивается эффективность функционирования и качество организации производственных систем. Следует широко использовать новые информационные технологии.

Анализ показал, что мировой опыт организации производственных процессов (в т.ч. ТОиР) доведён до уровня международных стандартов, внедрение которых в отечественной практике сдерживается отсутствием автоматизированных систем управления ТОиР как основы организации производства. Необходимо разработать модель реализации ТОиР локомотивов с использованием передовых методов и системотехнических принципов организации производства.

Предложена структура модели, построенная по сформулированным в диссертационной работе требованиям в соответствии с современными научными, методологическими и системо-техническими принципами организации производства.

В результате определены пять базовых функциональных блоков Модели и создаваемой по ней информационно-управляющей производственной системы: мониторинг технического состояния локомотивов и режимов их эксплуатации, прогнозное и оперативное планирование объёма ТОиР, внутрипроизводственное планирование ресурсов, организация производственных процессов, факторный анализ и принятие корректирующих воздействий как обратная связь, построенная по принципу цикла PDCA.

**В третьей главе** представленны результаты разработки научных принципов повышения эффективности функционирования производственных процессов сервисных локомотиворемонтных предприятий на основе использования соверменных информационных технологий.Разработан комплекс алгоритмов функционирования предложенной Модели с использованием инкапсулированных математических и логических методов управления, разработке технологию принятия решений о фактически необходимом объёме ремонтных работ по восстановлению работоспособности локомотивов при проведении ТОиР с разработкой соответствующих классификаторов, разработке алгоритмов планирования технического обслуживания и ремонта с использованием новых информационных технологий. Для каждого элемента системы разработан алгоритм его функционирования с использованием инкапсулированных математических и логических методов, в т.ч. согласно требованиям международных стандартов. Описана разработанная информационно-динамическая модель управления производственными процессами технического обслуживания и ремонта локомотивов.

Эффективность функционирования и качество организации производ-ственной системы ТОиР и её процессов предлагается обеспечить за счёт встроенной экспертной системы (рисунок 2). Разработана система поддержки принятия решений (СППР) при планировании сверхцикловых работ для учёта замечаний по техническому состоянию локомотива и внешним проявлениям отказов.

Если совокупность описания проявлений отказа представить как множество признаков *Q*, а сам отказ описать множеством признаков *R*, то работа СППР сводится к установлению соответствия между множествами *Q* и *R*: *(Q → R)*. Переход от проявления *Q* к отказу *R (Q → R)* носит эвристический характер. В модели процесс *Q → R* должен быть автоматизирован в виде СППР.

****



11

а – Накопление статистики б – Распознавание образов в СППР

***Рисунок 2*** *– Экспертная система поддержки принятия решений (СППР) определения объёма дополнительного ремонта*

В международных стандартах систем менеджмента качества (СМК) при описании инцидента (отказа, аномалии и др.) рекомендован принцип «5W2H» (7 вопросов для поиска коренных причин), согласно которому предполагаемый отказ оборудования характеризуется совокупностью признаков *Q***,** каждый из которых представляет собой числовую информацию:

 (1)

*Qi = {QW1i, QW2i, QW3i, QW4i, QW5i, QH1i, QH2i}:*

*QW1*: *Who*? *Кто*? – Источник информации об инциденте: МСУ, Бортовой журнал формы ТУ-152, Визуальный осмотр, КАСАНТ, системы диагностирования и др.

*QW2***:** *What*? *Что*? – Описание происшествия: срабатывание аппаратов защиты, предупреждающее сообщение на экране бортового компьютера, посторонний запах, искрение, треск, шум, частичная потеря мощности локомотива и др.

*QW3***:** *When*? *Когда*? – Дата и время события.

*QW4***:** *Where*? *Где*? – Серия и номер локомотива. В каком месте локомотива проявился отказ согласно четырёхуровневому классификатору оборудования. Название узла, если известно.

*QW5***:** *Why*? *Почему*? – Описание причин события (предварительные): по вине машиниста, при броске напряжения в контактной сети, во время грозы и др.

*QH1***:** *How*? *Как*? – При каких обстоятельствах произошёл отказ: в режиме тяги или торможения (пневматического, реостатного, рекуперативного), при входе в режим, при смене позиции контроллера машиниста, независимо от действий машиниста, при броске напряжения в контактной сети и др.

*QH2***:** *How much*? *Сколько?* – Объём события, объём повреждения: разовый сбой, многократный сбой, разовый отказ с восстановлением, многократный отказ с восстановлением, отказ без последствий для тяги поездов, частичная потеря работоспособности без внепланового захода в депо, неплановый ремонт, разрушение секции, требующее капитального ремонта, списание секции.

После выполнения ремонта и устранения инцидента формируется своя совокупность параметров *R* также по методике 5W2H:

 (2)

*Ri = {RW1i, RW2i, RW3i, RW4i, RW5i, RH1i, RH2i}*

*RW1*: *Who*? *Кто*? – Место ремонта: СЛД с указание цеха: на локомотиве, цех ТО-3, цех топливной аппаратуры, электромашинный цех и др.

*RW2*: *What*? *Что*? – Описание отказавшего узла: аналогично QW2.

*RW3***:** *When*? *Когда*? – Дата и время ремонта, продолжительность ремонта.

*RW4***:** *Where*? *Где*? – Где на локомотиве произошёл отказ: аналогично QW4.

*RW5***:** *Why*? *Почему*? – Причина отказа: указание причины отказа с использованием классификаторов.

*RH1***:** *How*? *Как*? – Характер ремонта: чистка, регулировка, крепление, замена на исправный с восстановлением, замена со списанием.

*RH2***:** *How much*? *Сколько?* – Стоимость ремонта (запчасти и работа).

При появлении отказов *Qi = {Q1, Q2, …, QI}* производятся разборы и обнаруживаются отказы *Rj = {R1, R2, …, RJ}*. По мере накопления статистики формируются пары соответствия проявления отказа самим отказам – формируется таблица функций неисправностей *F*:

(3)

*F = {Qi → Rj}*

Совокупность связей *{Qi → Rj}*носит характер многие ко многим: одному образу проявления инцидента*Qi* может соответствовать один и более образов самих инцидентов *Rj*. И наоборот: один *Rj* может иметь образов*Qi*. Для случаев отсутствия чёткого соответствия предложен метод распознавания образов возможного отказа *Rj* по его проявлению *Qi*. как входящего в группу *Q*.

Предлагаемая экспертная система является самообучающейся с постоянным повышением достоверности выдаваемых рекомендаций (рисунок 3).

Для эффективного использования материально-технических ресурсов разработан алгоритм управления его неснижаемым запасом на деповском складе, в основу которого взята известная эмпирическая формула:

$Q=Z\*\left(\sqrt{\left(σ\_{R}^{2}\*M\_{ }^{2}\right)+(\frac{R\*σ\_{M}^{2}}{T}})\right)$

 (4)

где: *Q* – требуемый объём неснижаемого запаса (шт., кг, м, литр и др.);

 *T* – период расчёта *σM* в днях;

 *M* – математическое ожидание потребности в ТМЦ в сутки (шт., кг и др.):

$M= \frac{\sum\_{i=1}^{max}x\_{i}}{max}$

 (5)

где: *xi* – расход детали за *i*-й день; *max* – число наблюдений, дни;

*σM* – среднеквадратическое отклонение среднемесячной потребности *M*:

$σ\_{M}=\sqrt{\frac{\sum\_{i=1}^{max}(x\_{i}-MM)^{2}}{max}}$*;*

 (6)

где: *MM*= 30\**M* – математическое ожидание потребления деталей за месяц.
 *R* – математическое ожидание ритма поставки ТМЦ (дней):

$R= \frac{\sum\_{j=1}^{mx}y\_{j}}{mx}$

 (7)

где: *yj* – время *j*-й поставки; *mx* – число наблюдений поставок (число приходов); *σR* – СКО *R*;

$σ\_{M}=\sqrt{\frac{\sum\_{j=1}^{mx}(y\_{j}-R)^{2}}{mx}}$

 (8)

Анализ и моделирование использования формулы по данным депо показал, что ритм поставки *R* в рассматриваемой формуле следует заменить на время доставки детали с буферного склада, что соответствует технологии работы СЛД (рисунок 3). При отсутствии буферного склада формула не применима.



***Рисунок 3*** *– Управление неснижаемым запасом ТМЦ*

Таким образом, в третьей главе описана разработанная в диссертации информационно-динамическая модель управления сервисным техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов, общая архитектура которой приведена на рисунке 4.

На этапе мониторинга эксплуатации и технического состояния локомотивов определяется фактически выполненный локомотивом объём работы A (пробег, тонно-километровая работа, расход топлива (т) и электроэнергии (кВт\*ч), наличие нарушений режимов эксплуатации и их число). Одновременно определяется фактическое состояние локомотива Q как набор параметров, характеризующих правильность функционирования оборудования и работоспособность локомотива, исправность узлов и оборудования локомотива.

На этапе постановки локомотива на ремонт по данным о выполненной локомотивом *i* работе *Ai*, его техническом состоянии *Qi* и нормативному межремонтному пробегу Aнорм определяется дата *DLi* постановки *i*-того локомотива *Li* на техническое обслуживание или ремонт (ТОиР):

*DLi = f(A, Q) (9)*

В результате формируется график постановки локомотивов на ремонт *D* как совокупность дат постановки на ТОиР каждого из локомотивов:

*D = {DL1, DL2, …, DLi, …, DLN } , (10)*

где *N* – общее число сервисных локомотивов депо.

На этапе внутрипроизводственного планирования ресурсов *Z* (трудовых, инструментальных, инфраструктурных (канавы, пути и др.), ремонтного оборудования (обточные станки, скатоподъёмники, краны, домкраты и др.), запасных частей и материалов повторного использования, электроэнергии, топлива и др. для выполнения работ, запланированных оперативными (декадными, трёхсуточными, суточными) и прогнозными (квартальными, годовыми) графиками постановки локомотивов на ремонт согласно графику постановки локомотивов на ремонт *D,* виду планово-предупредительного ремонта (определяется объёмом выполненной работы *A*), по данным о фактическом состоянии локомотивов *Q*, а также согласно нормативу и фактической статистике расхода ресурсов *Zнорм* планируются ресурсы депо – происходит внутрипроизводственное планирование:

*Zi = f(A, Q, Zнорм ), (11)*

*Z = {Z1, Z2, …, Zi, …, ZM } , (12)*

где *Zi – потребность в i-том ресурсе*

*M* – число видов ресурсов, необходимых для организации ТОиР.

На основании потребных ресурсов *Z* организуется материально-техническое обеспечение ТОиР.

Следующий этап работ - организация управления производственными процессами: собственно техническое обслуживание локомотива: плановое или неплановое. На этом этапе работы модели согласно графику постановки локомотивов *D*, выделенным ресурсам *Z* и фактическому состоянию локомотива *Q* организуются технологические производственные процессы ТОиР локо-мотивов в условиях сервисных депо *R*:

*Ri = f(Di, Ai, Qi, Zi), (13)*

*R = {R1, R2, …, Ri, …, RN } , (14)*

Технологические процессы ремонта локомотивов *R* организовываются с учётом требований международных стандартов в области систем менеджмента качества (СМК), бережливого производства, теории вариабельности и других международных стандартов, описанных выше.

Факторный анализ: принятие корректирующих мер по принципу постоянного улучшения (цикл PDCA) - это оперативный и периодический анализ всей совокупности информации с применением математических и логических методов с целью улучшения ключевых показателей качества ТОиР (*KPI)* с последующим планированием корректирующих мероприятий по их устранению:

*KPI = f(A, D, Q, R, Z). (15)*



***Рисунок 4*** *– Архитектура Модели*

**Четвертая глава** посвящёна разработке принципов повышения эффективности управления производственных процессов ТОиР локомотивов, представлены результаты технико-экономического обоснования (ТЭО) разработанной Модели, определены ключевые показатели эффективности управления производственными процессами ТОиР.

Эффекты от внедрения предлагаемой модели возникают от повышения эффективности организации ТОиР, которая достигается за счёт комплексного обеспечения соблюдения технологических процессов. Мотивация работников ремонтных предприятий на получение зарплаты позволяет инкапсулировать в информационную систему по принципу «Встроенное качество» контрольные функции, правильную последовательность действий, принципы международных стандартов (ISO) в области менеджмента качества и управления надёжностью.

Реализация модели не увеличивает доходы сервисной компании, которые зависят от общего пробега локомотивов «под поездом». Но сокращаются расходы на неплановые ремонты и сверхцикловые работы и простой локомотивов на ТОиР – в целом на 20-30%. Расходы на реализацию модели - это разработка соответствующего программного обеспечения, поставка и монтаж IT-оборудования, обучение и внедрение. Текущие расходы - это Интернет, обслуживание IT-оборудования и сопровождение программного обеспечения. Расчёты показали, что окупаемость внедрения модели не превышает трёх лет от момента начала эксплуатации системы на конкретном объекте автоматизации.

Исходя из технико-экономического обоснования определены ключевые показатели эффективности управления производственными процессами ТОиР в сервисных локомотивных депо – *KPI:*

1. *KPI1* - Контроль сверхцикловых работ (сверхнормативные расходы):
	1. Число сверхцикловых работ, шт.; *KPI11*.
	2. Продолжительность сверхцикловых работ, мин.; *KPI12*.
	3. Разряд сверхцикловых работ, разряд; *KPI13*.
	4. Трудозатраты на сверхцикловые работы, руб.; *KPI14*.
	5. Расходы ТМЦ на сверхцикловые работы, руб.; *KPI15*.
	6. Расходы МПИ на сверхцикловые работы, руб.; *KPI16*.
	7. Общие затраты на сверхцикловые работы, руб.; *KPI17*.
	8. Отнесение затрат по ответственности (факторный анализ по данным окна экспресс-анализа), руб.; *KPI18*.
2. *KPI2* - Контроль коэффициента технической готовности (потери КТГ):
	1. Простой в ожидании ТОиР и НР, мин.; *KPI21*.
	2. Простой при проведении ТОиР и НР, мин.; *KPI22*.
	3. Простой по кодам состояний окна «Статус» (логистические потери), мин.; *KPI23*.
	4. Отнесение потерь за перепростой по ответственности, мин.; *KPI24*.
	5. Процент работ, выполненных в срок, %; *KPI25*.
3. *KPI3* - Контроль качества выполнения ТОиР:
	1. Количество замечаний приемщика ТЧЭ (ОТК), шт.; *KPI31*.
	2. Количество локомотивов, выданных после ТОиР (с первого, второго и более предъявлений), шт.; *KPI32*.
	3. Количество заходов локомотивов на НР после последнего ТОиР (в первые 5000 км пробега), шт.; *KPI33*.

Большое число KPI усложняют процесс контроля качества и эффективности технологических процессов, поэтому предлагается интегральный показатель эффективности работы Модели, определяемый по формуле:

*KPI = 100% ˑ KPI1 ˑ KPI2 ˑ KPI3* , (16)

где: *KPI, KPI1, KPI2, KPI3* − приведённые к диапазону [0, 1] ключевые показатели качества: принимают значение 1, если показатель качества идеален. В общем виде *KPI* определяется произведением всех *KPIi:*

 *imax*

*KPI = 100% ˑ П KPIi ,(17)*

 *i=1*

где**:** imax **–** общее число показателей эффективности и качества.

В свою очередь каждый из показателей эффективности и качества *KPIi* определяется входящими в него внутренними показателями *KPIij*, определяемыми по формуле:

 *KPIij* = *KPIijАбс* / *KPIijАбсMax* , (18)

где**:** *KPIijАбс* **–** абсолютное значение j-того показателя эффективности *KPIi*;

 *KPIijАбсMax* **–** абсолютное максимальное значение *KPIijАбс*.

Например, для показателя «*Процент работ, выполненных в срок*» *KPIijАбсMax* = 100, а 0 <= *KPIijАбс* <= 100. Формула 4.3 верна, если KPIi следует повышать до значения *KPIijАбсMax.* Если *KPIijАбс* следует cнижать до идеального значения *KPIijАбсMin*, то вместо формулы 18 следует применить формулу 19:

*KPIij* = *KPIijАбсMin* / *KPIijАбс* , (19)

Если минимальное значение нулевое, то используется формула:

*KPIij* = (1 + *KPIijАбсMin)* / (1 + *KPIijАбс)* , (20)

Тогда каждый из показателей *KPIi* можно определить по формуле:

*KPIi* = Σ *kij* ˑ*KPIij* / Σ *kij* , (21)

где**:** *kij*  **–** весовой коэффициент значимости j-того параметра i-того KPI.

Таким образом, предложенная модель имеет измеряемую совокупность параметров для оценки её эффективности и качетсва процессов ТОиР. Предложены соответствующие формулы для расчёта KPI.

**Пятая глава** посвещенарешению задачи практической реализации Модели, для чего разработаны методы и средства информатизации для организации производственных процессов ТОиР, их документального обеспечения. Модель реализована как АСУ «Сетевой график» группы компаний «ЛокоТех» (программа написана компанией «АФМ-Серверс»).

АСУ «Сетевой график» автоматизирует организацию большинства процессов, представленных в модели (см. рисунок 4). Программное обеспечение реализовано на центральном сервере, доступ к которым с удаленных рабочих мест реализовано по Web-технологии. Система реализована как элемен ERP-системы управления предприятиям на платформе 1С:УПП. Вся функциональность Системы разбита на роли, для выполнения которой надо получить соответствующий логин и пароль. Каждое депо имеет возможность собственной настройки нормативно-справочной информации. Система работает в режиме online. Математические и логические методы управления инкапсулированы в систему, реализуя тем самым методический подход «Встроенное качество»: процессы можно выполнять «правильно или никак». Таким образом АСУ «Сетевой график» максимально соответствует разработанной Модели.

 Система внедрена в восьми сервисных локомотивных депо (СЛД): «Тюмень», «Югра» (г. Сургут), «Барабинск», «Боготол-Сибирский», «Тында-Северная» и «Амурское» (г. Комсомольск-на-Амуре), «Дальневосточное» (г. Хабаровск), «Москва-Сортировочная». Имеются акты о внедрении. Тиражирование продолжается. Программа установлена на рабочих местах производственно-диспетчерского отдела депо, отделах главного технолога, безопасности движения, технического контроля, у мастеров цехов, на складе и бухгалтерии, в отделе труда и заработной платы. Для работы в системе слесарей, электромехаников и других исполнителей в цехах депо установлены информационные киоски. Опыт эксплуатации системы показал, что психологический барьер работы специалистов в АСУ СГ преодолевается достаточно быстро. При этом удаётся отказаться от бумажных учётных и отчётных документов.

При внедрении решён ряд проблем, связанных с переходом от работы «по понятиям» к строгому соблюдению технологических процессов, эффективному функционированию системы ТОиР. Решены проблемы компьютеризации труда слесарей, мастеров и руководителей депо. Повышено качество организации производственной системы. В комапнии ЛокоТех принято решение о тиражировании системы во всех сервисных локомотивных депо (92 СЛД) сервисной компаний «ЛокоТех-Сервис».

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, направленные на повышение эффективности функционирования производ-ственных процессов технического обслуживания и ремонта локомотивов в сервисных локомотиворемонтных предприятиях.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы состоят в следующем:

1. Разработана информационно-динамическая модель управления производ-ственными процессами технического обслуживания и ремонта локомотивов на основе применения вероятностно-статистических методов и новых информационных технологий. Модель состоит из пяти основных элементов: Мониторинг эксплуатации и технического состояния локомотив, Планирование ТОиР, Внутрипроизводственное планирование, Управление ТОиР при заходе локомотива на ремонт и Факторный анализ статистики ТОиР с принятием корректирующих мероприятий. Модель охватывает все элементы управления жизненным циклом локомотива на этапе его эксплуатации. Для каждого элемента разработан алгоритм его реализации и описаны необходимые для его функционирования математические методы, реализованные на основе широкого использования новых информационных технологий.
2. Предложены классификатор идентификации отказов деталей, узлов и агрегатов локомотивов по результатам мониторинга их технического состояния и классификатор выполняемых работ по восстановлению их работоспособности. Классификатор состоит из двух подсистем: собственно проявлений отказов и выявленных впоследствии отказов. Каждая из подсистем состоит из семи независимых иерархических структур: четырёхуровневого классификатора оборудования, типа проявления, последствий, места и времени события, последствий и др.
3. Разработана методика принятия решений по определению фактически необходимого объёма работ при проведении технического обслуживания и ремонта локомотивов.
4. Разработаны ключевые показатели эффективности управления производственными процессами технического обслуживания и ремонта локомотивов в сервисных локомотивных депо.
5. Разработан алгоритм планирования технического обслуживания и ремонта локомотивов в сервисных предприятиях с использованием новых информационных технологий и методов управления производственными ресурсами, включающий:
* управление неснижаемым запасом запасных частей и материалов на складе сервисного локомотивного депо. Доказана целесообразность создания буферных складов для снижения неопределённости в объёме неснижаемого запаса;
* внутрипроизводственное планирование, основу которого составляет вероятностное прогнозирование потребности в ресурсах на основании обработки статистических данных о потребности в этих ресурсах;
* управление затратами как базовое при повышении эффективности управления ТОиР;
* оперативное и прогнозное планирование ТОиР;
* факторный анализ.
1. Разработана экспертная система поддержки принятия решений (СППР), позволяющая по замечаниям по техническому состоянию локомотива, составленному с использованием разработанного классификатора проявлений отказов, прогнозировать потребные работы ТОиР.
2. Эффект от реализации Модели достигается за счёт сокращения: числа дополнительных работ, неплановых ремонтов, оптимизации склада и сокращения логистических потерь сервисных локомотивных депо (СЛД) при ТОиР. Предложена совокупность ключевых показателей качества, позво-ляющих комплексно контролировать эффективность управления ТОиР по предложенной Модели.
3. Разработанная Модель внедрена в работу сервисной локомотивной компании ООО «ТМХ-Сервис», входящей в группу компаний ООО «ЛокоТех», в виде информационно-управляющей системы АСУ «Сетевой график». Система является информационно-технологической основой организации производ-ственных процессов ТОиР локомотивов. Внедрена в восьми СЛД: «Тюмень», «Югра» (г. Сургут), «Барабинск», «Боготол-Сибирский», «Тында-Северная», «Амурское» (г. Комсомольск-на-Амуре), «Дальневосточное» (г. Хабаровск) и «Москва-Сортировочная».

В качестве рекомендаций и перспективы дальнейшей разработки темы диссертации предлагается проведение исследований по совершенствованию системы мониторинга технического состояния локомотивов и режимов их эксплуатации с расширением числа диагностических параметров и разработке автоматизированной системы управления производственными процессами технического обслуживания и ремонта локомотивов для обеспечения их работоспособности в эксплуатации.

**Основные положения диссертации опубликованы в работах:**

1. Пустовой, И.В. Повышение эффективности системы сервисного обслуживания локомотивов за счёт внедрения информационных технологий [Текст] / И.В. Пустовой // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. - № 6 (60). – С. 36 – 40. **(по перечню ВАК Минобрнауки России)**.
2. Пустовой, И.В. Инкапсуляция статистических методов управления в информационную систему сервисного обслуживания и ремонта локомотивов [Текст] / И.В. Пустовой// Известия Транссиба. – 2016. – № 3 (27). – С. 132 – 142. **(по перечню ВАК Минобрнауки России)**.
3. Лакин, И.К. Эффективность сервисного обслуживания локомотивов [Текст] / И.К. Лакин, И.В. Пустовой // Вестник Института проблем естественных монополий: ТЕХНИКА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ. – 2017. – № 2 (38). – С. 34 – 44. **(по перечню ВАК Минобрнауки России)**.
4. Липа, К.В. Мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации локомотивов. Теория и практика [Текст] / К.В. Липа, А.А. Белинский, В.Н. Пустовой, С.Л. Лянгасов, И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников, И.И. Лакин, А.А. Баркунова, И.В. Пустовой. – М.: ООО «Локомотивные Технологии», 2015. – 212 с.
5. Пустовой, И.В. Сетевое планирование ремонта сервисных локомотивов [Текст] / И.В. Пустовой, И.И. Лакин // Локомотив. –2015.– № 7(703).– С. 6-9.
6. Пустовой, И.В. Особенности применения методов сетевого планирования при организации сервисного ремонта локомотивов [Текст] / И.В. Пустовой // Материалы шестой международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона». – ИрГУПС, Иркутск, 2015. – С. 349 – 354.
7. Пустовой, И.В. Электронный ТУ-28Э как основа PLM-системы СЛД [Текст] / И.В. Пустовой // Материалы третьей всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава». – ОмГУПС, Омск, 2015. – С. 62 – 67.
8. Лянгасов, С.Л. Автоматизация ведения журнала формы ТУ-28 [Текст] / С.Л. Лянгасов, И.В. Пустовой // Материалы второй международной научно-практической конференции «Перспективы развития сервисного обслужива-ния локомотивов». – М.: ООО «Локомотивные технологии», 2015.–С.189-193.
9. Пустовой, И.В. Электронный журнал учёта ремонта локомотива ТУ-28Э [Текст] / И.В. Пустовой, А.И. Баранов, Д.В. Галкин // Локомотив. – 2016. – № 3 (711). – С. 12 – 14.
10. Пустовой, И.В. Управление неснижаемым запасом ТМЦ при организации сервисного обслуживания и ремонта локомотивов [Текст] / И.В. Пустовой // Материалы третьей всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов».– ОмГУПС,2016.–С.42– 48.
11. Пустовой, И.В. Комплексное управление производственными процессами сервисных локомотивных депо [Текст] / И.В. Пустовой // Сборник трудов IV международной конференции, посвященной 140-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора Ю.В. Ломоносова «Локомотивы. ХХI Век». – ПГУПС, Санкт-Петербург, 2016. – С. 242 – 245.
12. Пустовой, И.В. Автоматизация управления ремонтом локомотивов в сервисной компании «Локомотивные технологии» [Текст] / И.В. Пустовой // Локомотив. – 2016. – № 12 (720). – С. 2 – 4.
13. Лакин, И.К. Проблемы внедрения информационных технологий в локомотивных депо [Текст] / И.К. Лакин, И.В. Пустовой // Локомотив. – 2017. – № 2 (722). – С. 11 – 13.
14. Пустовой, И.В. Роль вероятностно-статистических методов в управлении техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов [Текст] / И.В. Пустовой // Материалы восьмой международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона». – ИрГУПС, Иркутск, 2017. – С. 365 – 369.
15. Пустовой, И.В. Научные аспекты автоматизации управления сервисным ТОиР [Текст] / И.В. Пустовой, А.А. Аболмасов // Сборник трудов IV международной конференции «Локомотивы. ХХI Век». – ПГУПС, Санкт-Петербург, 2017. – С 337 – 341.
16. Лакин, И.К. Инновационное развитие сервисных локомотивных депо группы компаний ЛокоТех [Текст] / И.К. Лакин, И.В. Пустовой, А.И. Баранов // материалы всероссийской НПК «115 лет железножорожному образованию в Забайкалье : ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА - ПРОИЗВОДСТВО». – ЗабИЖТ ИрГУПС, Чита, 2017. – С. 78 – 83.
17. Черемисин, В.Т. Автоматизация поиска и устранения неисправностей локомотива в сервисных локомотивных депо [Текст] / В.Т. Черемисин, И.В. Пустовой // Локомотив. – 2017. – № 8. – С. 12 – 14.
18. Черемисин, В.Т. Разработка информационно-динамической модели управления сервисным техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов [Текст] / В.Т. Черемисин, И.В. Пустовой // Материалы IV всероссийской НТК с международным участием «Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава». – ОмГУПС, 2017.–С.
19. Черемисин В.Т. Роль информационных технологий в обеспечении надежности локомотивов [Текст] / В.Т. Черемисин, И.В. Пустовой // Локомотив. – 2017. – № 9. – С. 16 – 18.
20. Lakin, I.K. New service agreements enhance locomotive service and repair efficiency [Text] / I.K. Lakin, I.V. Pustovoy // Railway Equipment. – 2017. –Special issue, august 2017. – P. 16 – 25.

ПУСТОВОЙ Илья Владимирович

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СЕРВИСНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ И РЕМОНТОМ ЛОКОМОТИВОВ

Специальность 05.02.22 – Организация производства (транспорт)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Подписано в печать \_\_\_.\_\_\_.2018 г.

Формат 60×84 1/16. Усл. печ. л. 1,1.

Заказ \_\_\_\_. Тираж 100 экз.

Издательство ОмГУПС, 644046, Омск, пр. Маркса, 35