

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

Екатеринбург
2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения» (ОмГУПС)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
ЧЕРЕМИСИН Василий Титович

Официальные оппоненты: **БУЙНОСОВ Александр Петрович**,
доктор технических наук, профессор федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС)

СЕМЁНОВ Александр Павлович,
кандидат технических наук, генеральный директор научно-исследовательского института технологий, контроля и диагностики (НИИТКД, г. Омск)

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (МИИТ)

Защита состоится « 12 » октября 2018 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 218.013.02 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС) в ауд. Б2-15 (зал диссертационных советов) по адресу: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте УрГУПС, <http://www.usurt.ru>.

Автореферат разослан « » сентября 2018 г.

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

Тел./факс: +7 (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. 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 № 313 от 15.04.2014). Это в полной мере относится и к железнодорожному транспорту.

Расходы на тягу поездов составляют треть всех эксплуатационных расходов ОАО «РЖД», значительная часть которых – это расходы на техническое обслуживание и ремонт локомотивов (ТОиР). С 2014 г. ТОиР локомотивов осуществляются в сервисных компаниях, которые получают доход от объёма выполненной работы: километров пробега для магистральных и часов работы для маневровых локомотивов. Экономические аспекты сервиса, большая изношенность локомотивов, устаревшие производственные технологии локомотиворемонтного комплекса, обеспечение материалами, комплектующими изделиями и узлами являются проблемными задачами, требующими теоретической проработки.

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 этих проблем внесли известные ученые С.Я. Айзинбуд, А.Ю. Балакин, А.А. Воробьев, А.В. Воротилкин, И.И. Галиев, В.А. Гапанович, А.Т. Головатый, А.Н. Головаш, А.В. Горский, Ю.А. Давыдов, А.М. Замышляев, И.П. Исаев, В.И. Киселев, В.С. Коссов, В.Д. Кузьмич, Д.Н. Курилкин, И.К. Лакин, В.Б. Просвилов, А.Д. Пузанков, В.М. Сай, А.П. Семёнов, Н.Ф. Сирина, А.В. Скребков, В.Т. Стрельников, Э.Д. Тартаковский, В.П. Феоктистов, В.Т. Черемисин, В.А. Четвергов, Н.Г. Шабалин, С.Г. Шантаренко, Ю.С. Шашлюк.

Анализ эксплуатационных показателей работы локомотивов и ключевых показателей качества работы сервисных локомотивных депо подтверждает, что повышение эффективности использования локомотивов в существенной степени зависит от эффективности управления производственными процессами ТОиР.

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 производственными процессами технического обслуживания и ремонта локомотивов, повышение эффективности функционирования производственных процессов, создание и применение методов и средств мониторинга на основе использования информационных технологий и экспертных систем поддержки принятия решений.

Для достижения цели потребовалось решить следующие задачи:

- разработать структуру модели на основе вероятностно-статистического анализа объекта исследования и методов новых информационных технологий;
- разработать алгоритм планирования ТОиР локомотивов в сервисных предприятиях с использованием новых информационных технологий и методов управления 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 метод принятия решений по определению фактически необходимого объема работ при проведении ТОиР локомотивов;
- разработать ключевые показатели эффективности управления производственными процессами ТОиР 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 локомотиворемонтных предприятиях.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- разработана информационно-динамическая модель управления производственными процессами технического обслуживания и ремонта (ТОиР) локомотивов с инкапсулированными вероятностно-статистическими и логическими методами и использованием новых информационных технологий;
- разработан алгоритм планирования ТОиР в сервисных предприятиях с использованием новых информационных технологий и методов управления ресурсами;

– разработана методика 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 ТОиР локомотивов, позволяющая повысить эффективность организации производственных процессов посредством совершенствования организации деятельности 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 внутривыпускного 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 24 сервисных локомотивных депо группы компаний «ЛокоТех».

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, их качеством и надёжностью.

Аналитическая часть работы выполнена с использованием авторских программ статистического и логического анализа, реализованных на алгоритмическом языке программирования Visual Basic for Applications MS Excel.

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, включающая в себя структуру процессов, алгоритмы и математические методы её реализации;

- 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 необходимого объема работ при проведении технического обслуживания и ремонта локомотивов;
- ключевые показатели эффективности управления производственными процессами ТОиР 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 зарубежных учёных, корректностью применения математического аппарата теории вероятностей и статистического моделирования производственно-хозяйственной деятельности локомотиворемонтного 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 г., 2017 г.), 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 международных НТК «Локомотивы. XXI век» (ПГУПС, Санкт-Петербург, 2016 г., 2017 г.), второй Международной НПК «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов» (МИИТ, «ЛокоТех», Москва, 2015 г.), Всероссийской НПК «115 лет железнодорожному образованию в Забайкалье: образование – наука – производство» (ЗабИИЖТ ИрГУПС, г. Чита, 2017 г.).

Диссертация доложена и одобрена на заседании кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» (ЭПС) ОмГУПС (г. Омск, 2017 г.), на научном семинаре аспирантов УрГУПС (г. Екатеринбург, 2018 г.), на заседании кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (МИИТ) (Москва, 2018 г.).

Публикации. По результатам проведенных исследований опубликована 21 научная работа, в том числе 4 научные статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России; 9 работ опубликованы без соавторов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 193-х наименований. Содержит 175 страниц основного текста, включая 30 таблиц и 75 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

Первая глава посвящена анализу организации производственных процессов технического обслуживания и ремонта локомотивов в сервисных локомотиворемонтных предприятиях. Выполнен анализ уровня технического состояния локомотивного парка, находящегося на обслуживании в локомотиворемонтных предприятиях сервисной компании.

Проверка достоверности результатов расчётов проводилась по критерию унимодальности, для чего по каждому рассматриваемому показателю рассчитывалось математическое ожидание m_x выборки данных x_i в объёме N и среднеквадратичное отклонение σ_x . Предварительно унимодальность проверялась 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 χ_p^2) путём сравнения практического Δn_j^* и теоретического Δn_j числа попаданий в j -й диапазон для выбранного числа диапазонов разбиения. Выполнен анализ 14 млн данных по девяти новым сериям локомотивов (ЭП2К, 2ЭС5К, 3ЭС5К, 2ЭС4К, 2ТЭ25КМ, 2ТЭ25А, 2ТЭ116УД, 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 коэффициента технической готовности (КТГ) от ожидания ТОиР – более 40,3 (рисунок 1). Потери КТГ, связанные с проведением планово-предупредительных (цикловых) ТОиР (ТО-2, ТО-3, ТР-1 и др.), составляют 34,5% (рисунок 1). Неплановые ремонты с учётом ожидания и пересылки составляют 25,2% 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 производственными процессами ТОиР. Необходимо качественно менять систему управления логистикой депо как главную причину перепростоя локомотивов, для чего предложен классификатор состояний локомотив на ТОиР.

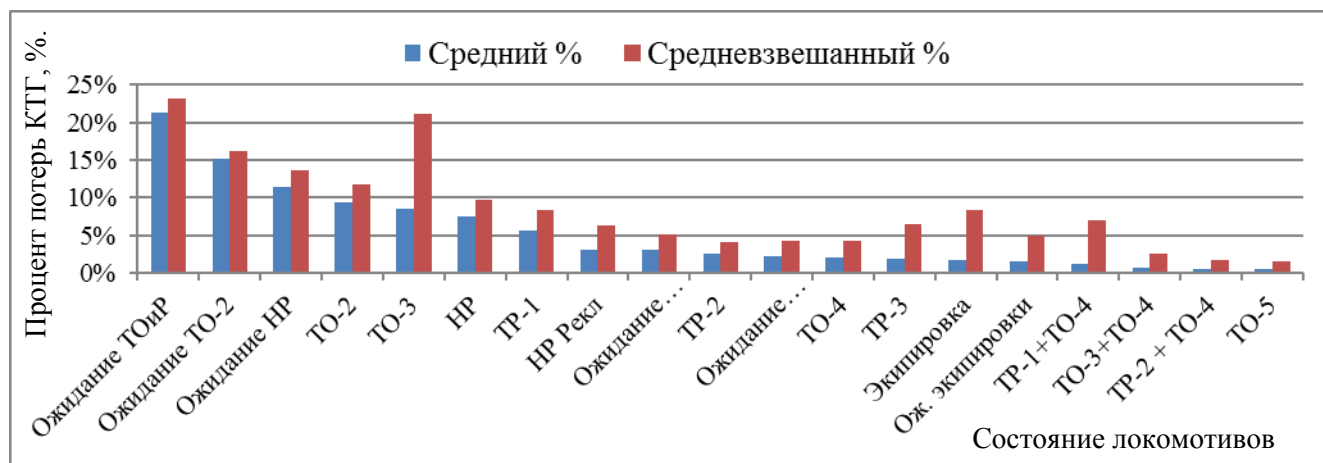


Рисунок 1 – Средние и средневзвешенные потери КТГ (I кв. 2017 г.)

Необходимо переходить от учёта надёжности локомотивов по количеству отказов на единицу измерения работы к учёту всех видов сверхцикловых работ по их продолжительности, требуемой квалификации ремонтного персонала, 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 основ 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 ТОиР сложных технических систем в частности. Доказана необходимость отказа 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. Необходима модель организации ТОиР локомотивов с использованием передовых методов и системотехнических принципов организации производства.

Обоснована структура модели, построенная по сформулированным в диссертационной работе требованиям в соответствии с современными научными, методологическими и системотехническими принципами организации

производства. 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 постоянного улучшения (циклу PDCA). Принципы международных стандартов управления производством и систем менеджмента качеством следует инкапсулировать в информационные системы управления через соответствующие алгоритмы и математические методы.

В третьей главе представлены результаты разработки научных принципов повышения эффективности функционирования производственных процессов сервисных локомотиворемонтных предприятий на основе использования современных информационных технологий. Разработан метод принятия решений о фактически необходимом объёме ремонтных работ по восстановлению работоспособности локомотивов при проведении ТОиР с разработкой соответствующих классификаторов. Разработан алгоритм 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 производственной системы ТОиР и её процессов предлагается обеспечить за счёт встроенной экспертной системы (рисунок 2), для чего разработана система поддержки принятия решений (СППР) при планировании сверхцикловых работ для учёта замечаний по техническому состоянию локомотива и внешним проявлениям отказов.

Если совокупность проявлений отказа представить, как множество признаков Q , а сам отказ и совокупность работ по его устранению описать множеством признаков R , то работа СППР сводится к установлению соответствия между множествами Q и R : ($Q \rightarrow R$). Переход от проявления Q к отказу R ($Q \rightarrow R$) носит эвристический характер. В модели процесс $Q \rightarrow R$ автоматизируется через разрабатываемую СППР.

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

$$Q_i = \{QW1_i, QW2_i, QW3_i, QW4_i, QW5_i, QH1_i, QH2_i\}. \quad (1)$$

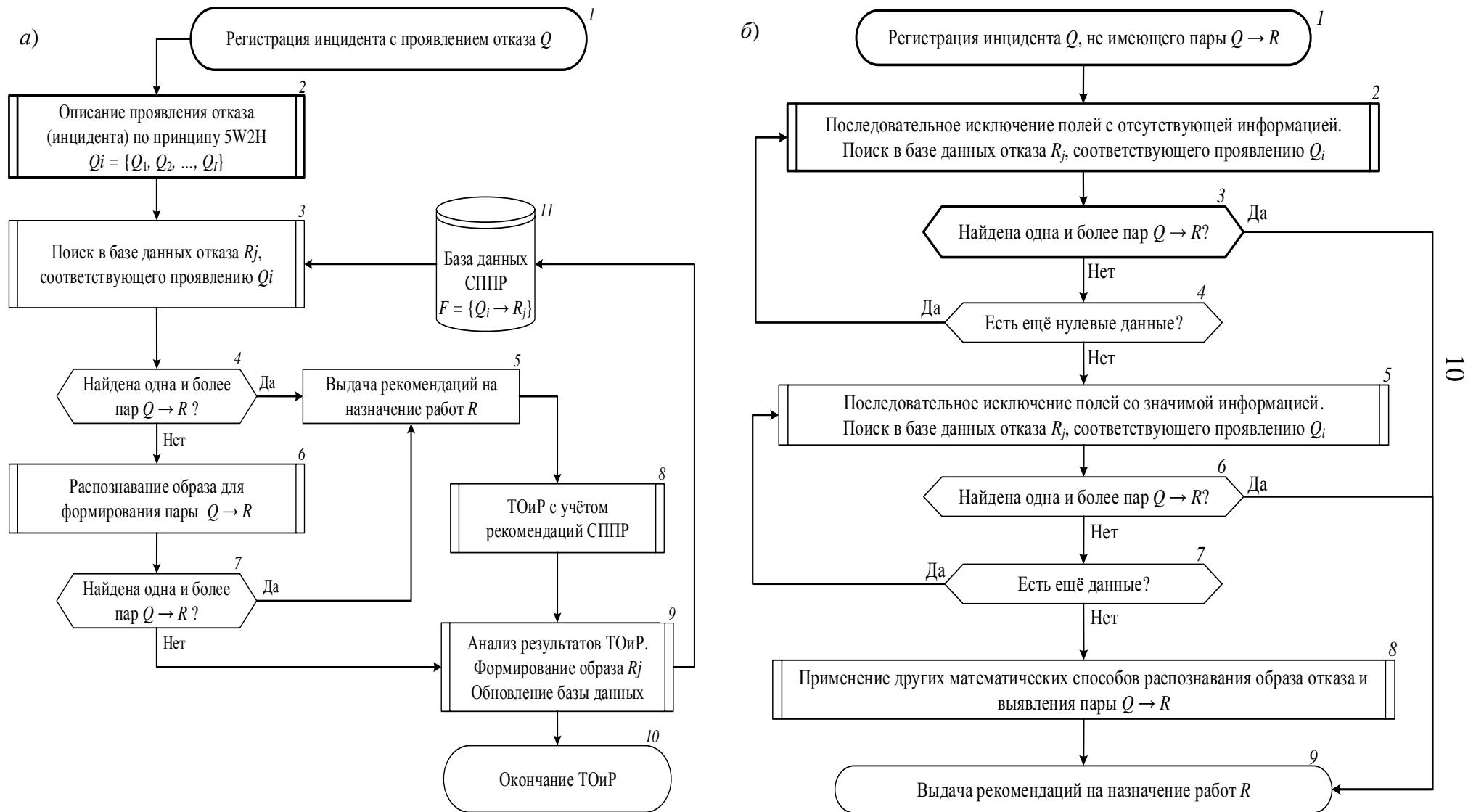


Рисунок 2 – Экспертная система поддержки принятия решений (СППР) определения объёма дополнительного ремонта
 а – алгоритм поддержки принятия решений о необходимых ремонтах; б – распознавание образа отказа R по их проявлению Q

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:

$$R_i = \{RW1_i, RW2_i, RW3_i, RW4_i, RW5_i, RH1_i, RH2_i\}. \quad (2)$$

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 $Q_i = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_I\}$ производятся разборы и обнаруживаются отказы и способы их устранения $R_j = \{R_1, R_2, \dots, R_J\}$. По мере накопления статистики формируются пары соответствия проявления отказа самим отказам – формируется таблица функций неисправностей F :

$$F = \{Q_i \rightarrow R_j\}. \quad (3)$$

Совокупность связей $\{Q_i \rightarrow R_j\}$ носит характер «многие ко многим»: одному образу проявления инцидента Q_i может соответствовать один и более образов самих инцидентов R_j . И наоборот: один R_j может иметь несколько образов Q_i . Для случаев отсутствия чёткого соответствия предложен метод распознавания образов возможного отказа R_j по его проявлению Q_i как входящего в группу векторов Q , вершины которых составляют область пространства семимерного пространства. Области пространства векторов Q могут пересекаться – в этом случае возможен один из нескольких отказов R . Предлагаемая экспертная система является самообучающейся с постоянным повышением достоверности выдаваемых рекомендаций (см. рисунок 2).

Техническое состояние локомотивов Q , включая проявления отказов и нарушения режимов эксплуатации, определяется на этапе мониторинга эксплуатации локомотивов по данным АСУ, бортовых микропроцессорных систем управления и диагностирования, по замечаниям машиниста и другим источникам информации. Одновременно определяется фактически выполненный локомотивами объём работы A (пробег, тонно-километровая работа, расход топлива и электроэнергии). При планировании постановки i -го локомотива на ремонт по данным о выполненной работе A_i , его техническом состоянии Q_i и нормативному межремонтному пробегу $A_{\text{норм}}$ (согласно плано-предупредительной системе ремонта) определяется дата D_{Li} постановки i -го локомотива L_i на ТОиР:

$$D_{Li} = f(A_i, A_{\text{норм}}, Q_i). \quad (4)$$

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

$$D = \{D_{L1}, D_{L2}, \dots, D_{Li}, \dots, D_{LN}\}, \quad (5)$$

где N – общее число сервисных локомотивов депо.

Ресурсы Z для выполнения ремонтов R включают в себя трудовые, инструментальные, инфраструктурные (канавы, пути и др.) ресурсы, ремонтное оборудование (обточные станки, скатоподъёмники, краны, домкраты и др.), запасные части (товарно-материальные ценности, ТМЦ) и материалы повторного использования (МПИ), электроэнергию, топливо, другие виды ресурсов. Внутрипроизводственное планирование ресурсов Z осуществляется согласно прогнозным (годовым, квартальным, месячным) и оперативным (декадным, трёхсуточным, суточным) графикам ремонта D . Ресурсы Z для выполнения ремонтов R формируются по данным об объёме выполненной работы A и данным о фактическом состоянии локомотивов Q . При этом учитываются нормативы потребления ресурсов $Z_{\text{норм}}$ и статистика их потребления $Z_{\text{стат}}$:

$$Z_i = f(A, Q, Z_{\text{норм}}, Z_{\text{стат}}), \quad (6)$$

$$Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_i, \dots, Z_M\}, \quad (7)$$

где Z_i – потребность в i -м ресурсе; M – число видов ресурсов, необходимых для организации ТОиР.

Для эффективного использования материально-технических ресурсов разработан алгоритм управления его неснижаемым запасом на деповском складе (рисунок 3).

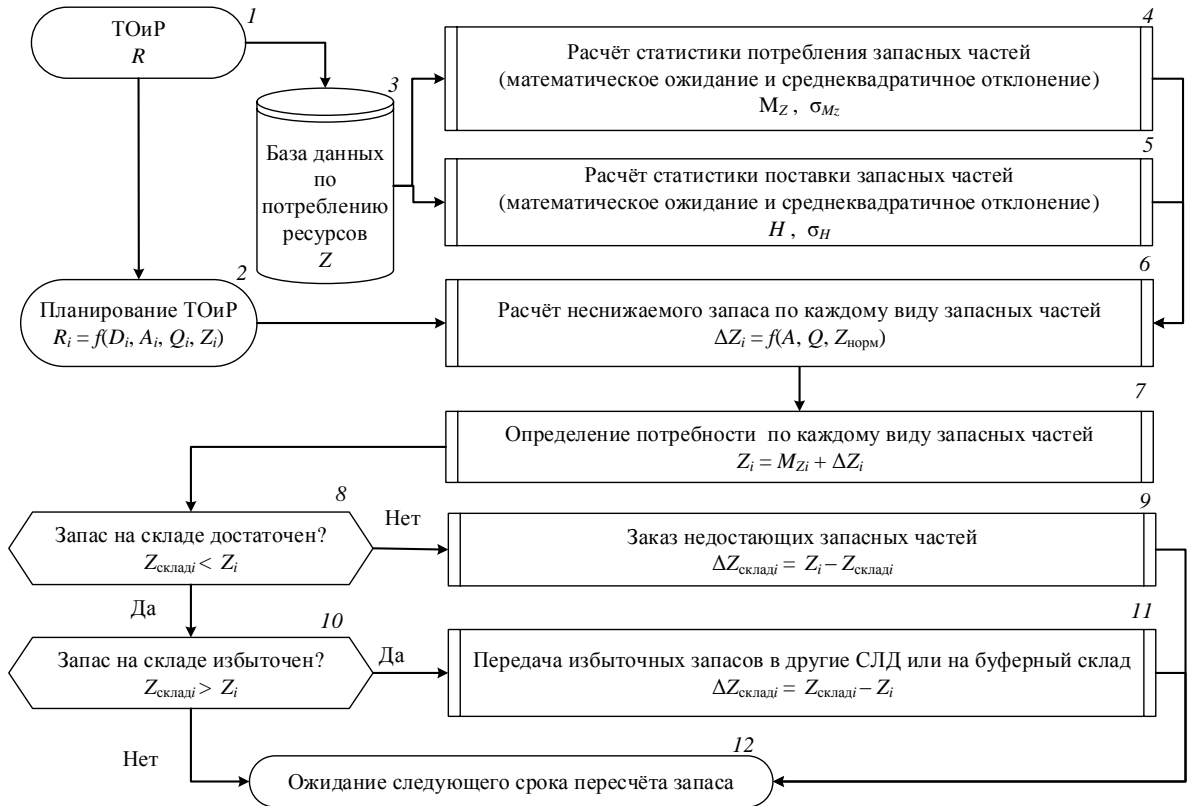


Рисунок 3 – Алгоритм управления неснижаемым запасом ТМЦ

В основу алгоритма взята известная эмпирическая формула, в которой ритм поставки заменен на время доставки детали с буферного склада, что больше соответствует технологии работы СЛД с высокой вариативностью потребности в запасных частях (анализ показал, что при отсутствии буферного склада формула неприменима):

$$\Delta Z_i = P \cdot \left(\sqrt{(\sigma_H^2 \cdot M_{Z_i}^2) + \left(\frac{H \cdot \sigma_{M_{Z_i}}^2}{T} \right)} \right), \quad (8)$$

где ΔZ_i – расчётный неснижаемый запас; T – период расчёта $\sigma_{M_{Z_i}}$ в днях; M_{Z_i} – математическое ожидание потребности в ТМЦ в сутки:

$$M_{Z_i} = \frac{\sum_{i=1}^{\max} x_i}{\max}, \quad (9)$$

где x_i – расход детали за i -й день наблюдения; \max – число дней наблюдения;

$\sigma_{M_{Z_i}}$ – среднеквадратическое отклонение среднемесячной потребности MM_{Z_i} :

$$\sigma_{M_{Z_i}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{\max} (x_i - MM_{Z_i})^2}{\max}}, \quad (10)$$

где $MM_{Z_i} = 30 \cdot M_{Z_i}$ – математическое ожидание потребления деталей за месяц; H – математическое ожидание времени доставки с буферного склада ТМЦ (дни):

$$H = \frac{\sum_{j=1}^{m_x} y_j}{m_x}, \quad (11)$$

где y_j – время j -й поставки; m_x – число наблюдений поставок (число приходов); σ_H – среднеквадратичное отклонение (СКО) H :

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{m_x} (y_j - H)^2}{m_x}}. \quad (12)$$

Потребное количество i -й детали на складе определяется как

$$Z_i = T \cdot M_{Z_i} + \Delta Z_i. \quad (13)$$

В этом случае заказ i -й детали $\Delta Z_{\text{склад}_i}$ определяется как разница между потребностью в этой детали Z_i и её остатком на складе $Z_{\text{склад}_i}$:

$$\Delta Z_{\text{склад}_i} = Z_i - Z_{\text{склад}_i}. \quad (14)$$

Следующий этап работ – организация управления производственными процессами: 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 производственные процессы ТОиР R локомотивов L в условиях сервисных депо:

$$R_i = f(D_i, A_i, Q_i, Z_i), \quad (15)$$

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_N\}, \quad (16)$$

где R_i – i -я операция (работа), выполняемая в процессе ТОиР локомотива; N – число технологических операций, требуемых для ТОиР локомотива.

Производственные процессы ремонта локомотивов R организуются с учётом требований международных стандартов по системам менеджмента качества, бережливого производства, теории вариабельности и других международных стандартов, принятых во второй главе целесообразными к использованию.

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 эффективности ТОиР (KPI) с последующим планированием корректирующих мероприятий по их устранению:

$$KPI = f(A, D, Q, R, Z). \quad (17)$$

Общая архитектура разработанной информационно-динамической модели управления сервисным техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов приведена на рисунке 4.

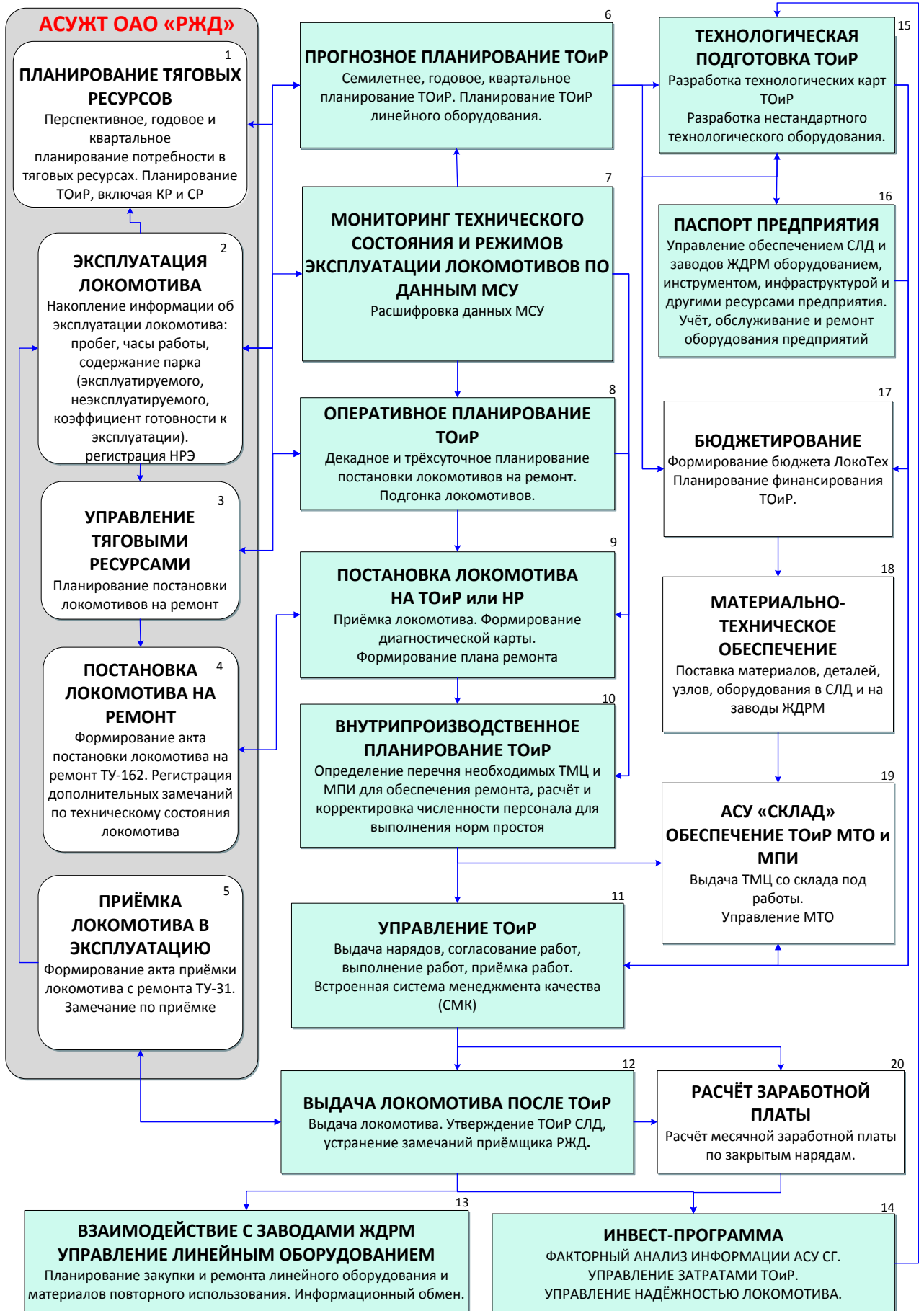


Рисунок 4 – Архитектура модели

Четвертая глава посвящена обоснованию источников технико-экономического эффекта от реализации 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 производственных 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, 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 оборудования и сопровождение программного обеспечения. Расчёты показали, что срок окупаемости 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 (Key Performance Indicator):

1. KPI₁ – Контроль сверхцикловых работ (сверхнормативные расходы):
 - 1.1. Число сверхцикловых работ, шт.; KPI₁₁.
 - 1.2. Продолжительность сверхцикловых работ, мин; KPI₁₂.
 - 1.3. Разряд сверхцикловых работ, разряд; KPI₁₃.
 - 1.4. Трудозатраты на сверхцикловые работы, руб.; KPI₁₄.
 - 1.5. Расходы ТМЦ на сверхцикловые работы, руб.; KPI₁₅.
 - 1.6. Расходы МПИ на сверхцикловые работы, руб.; KPI₁₆.
 - 1.7. Общие затраты на сверхцикловые работы, руб.; KPI₁₇.
 - 1.8. Отнесение затрат по ответственности (факторный анализ по данным окна экспресс-анализа), руб.; KPI₁₈.
2. KPI₂ – Контроль коэффициента технической готовности (потери КТГ):
 - 2.1. Простой в ожидании ТОиР и НР, мин; KPI₂₁.
 - 2.2. Простой при проведении ТОиР и НР, мин; KPI₂₂.
 - 2.3. Простой по кодам состояний окна «Статус» (логистические потери), мин; KPI₂₃.
 - 2.4. Отнесение потерь за перепростой по ответственности, мин; KPI₂₄.
 - 2.5. Процент работ, выполненных в срок, %; KPI₂₅.

3. КРІ₃ – Контроль качества выполнения ТОиР:
 - 3.1. Количество замечаний приемщика ТЧЭ (ОТК), шт.; КРІ₃₁.
 - 3.2. Количество локомотивов, выданных после ТОиР (с первого, второго и более предъявлений), шт.; КРІ₃₂.
 - 3.3. Количество заходов локомотивов на НР после последнего ТОиР (первые 5 тыс. км пробега), шт.; КРІ₃₃.

Большое число КРІ усложняют процесс контроля качества и эффективности производственных процессов, поэтому предлагается интегральный показатель эффективности работы модели, определяемый по формуле:

$$КРІ = 100\% \cdot КРІ_1 \cdot КРІ_2 \cdot КРІ_3, \quad (18)$$

где КРІ, КРІ₁, КРІ₂, КРІ₃ – приведённые к диапазону [0, 1] ключевые показатели эффективности: принимают значение 1, если показатель качества идеален. В общем виде КРІ определяется произведением всех КРІ_{*i*}:

$$КРІ = 100\% \cdot \prod_{i=1}^{i_{\max}} КРІ_i, \quad (19)$$

где i_{\max} – общее число показателей эффективности и качества.

Каждый из показателей эффективности и качества КРІ_{*i*} определяется входящими в него внутренними показателями КРІ_{*ij*}, определяемыми по формуле:

$$КРІ_{ij} = КРІ_{ijАбс} / КРІ_{ijАбсMax}, \quad (20)$$

где КРІ_{*ijАбс*} – абсолютное значение *j*-го показателя эффективности КРІ_{*i*};

КРІ_{*ijАбсMax*} – абсолютное максимальное значение КРІ_{*ijАбс*}.

Например, для показателя «Процент работ, выполненных в срок» КРІ_{*ijАбсMax*} = 100, а $0 \leq КРІ_{ijАбс} \leq 100$. Формула (20) верна, если КРІ_{*ijАбс*} следует повышать до значения КРІ_{*ijАбсMax*}. Если КРІ_{*ijАбс*} следует снижать до идеального значения КРІ_{*ijАбсMin*}, то вместо формулы (20) следует применить формулу (21):

$$КРІ_{ij} = КРІ_{ijАбсMin} / КРІ_{ijАбс}, \quad (21)$$

Если минимальное значение нулевое, то используется формула (22):

$$КРІ_{ij} = (1 + КРІ_{ijАбсMin}) / (1 + КРІ_{ijАбс}), \quad (22)$$

Тогда каждый из показателей КРІ_{*i*} можно определить по формуле (23):

$$КРІ_i = \sum k_{ij} \cdot КРІ_{ij} / \sum k_{ij}, \quad (23)$$

где k_{ij} – весовой коэффициент значимости *j*-го параметра *i*-го КРІ.

Таким образом, предложенная модель имеет измеряемую совокупность параметров для оценки её эффективности и качества процессов ТОиР.

Пятая глава посвящена решению 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»). Как и было предложено, методы модели

реализуются через их инкапсуляцию в АСУ.

АСУ «Сетевой график» автоматизирует организацию большинства процессов, представленных в модели (см. рисунок 4). Программное обеспечение реализовано на центральном сервере, доступ к которому с удаленных рабочих мест реализован по web-технологии. Система реализована как элемент ERP-системы управления предприятием на платформе 1С: УПП. Вся функциональность системы разбита на роли, для выполнения которых необходимо получить соответствующий логин и пароль. Каждое депо имеет возможность собственной настройки нормативно-справочной информации (НСИ). Система работает в режиме online. Математические и логические методы модели управления инкапсулированы в систему, этим реализуется методический подход «Встроенное качество»: работу можно выполнять «правильно или никак». Базовыми инкапсулированными методами являются:

- автоматическая обработка статистических данных об эксплуатации локомотивов A для расчёта прогнозных и оперативных графиков ТООР D ;
- автоматизированная регистрация замечаний по техническому состоянию локомотивов Q , в т.ч. по данным бортовых микропроцессорных систем управления, деповских стационарных и переносных автоматизированных систем технического диагностирования, результатов измерений с помощью измерительных инструментов и др.;
- прогнозирование вида и объёмов работ ТООР R и потребных для этого ресурсов Z по проявлениям отказов Q через отклонения параметров (система поддержки принятия решений);
- соблюдение алгоритмов работы R через систему подсказок и блокирование неправильных действий операторов (сервисных инженеров, мастеров, слесарей, работников ОТК, ОТиЗ, бухгалтерии, склада и др.) в АСУ;
- обязательность разбора причин возникновения сверхцикловых работ с использованием принципа 5W2H и соответствующих разработанных классификаторов с развитием СППР: $F = \{Q_i \rightarrow R_j\}$.
- автоматическая обработка статистических данных об эксплуатации локомотивов A и выполненных ремонтах $Q_i \rightarrow R_j$ для многофакторного анализа ключевых показателей эффективности КРІ с целью повышения эффективности ТООР, снижения его себестоимости и повышения надёжности локомотивов.

Таким образом, АСУ «Сетевой график» максимально соответствует разработанной модели за счёт инкапсуляции базовых принципов модели в программное обеспечение АСУ.

При внедрении модели решены проблемы, связанные с переходом от работы «по понятиям» к строгому соблюдению производственных и технологических процессов. Решены проблемы компьютеризации труда слесарей, мастеров и руководителей депо. Повышено качество организации производственной системы.

Система постоянно развивается (по принципу постоянного улучшения – циклу PDCA), для чего ежемесячно регистрируются ключевые показатели эффективности и качества согласно формулам, предложенным в главе 4. Итогом работы модели является автоматический (без участия оператора) вывод информации в режиме online на экран монитора диспетчера, руководителей депо, любого руководителя компании, экран общего пользования в цехах (рисунок 5) для оперативного управления ТООР.

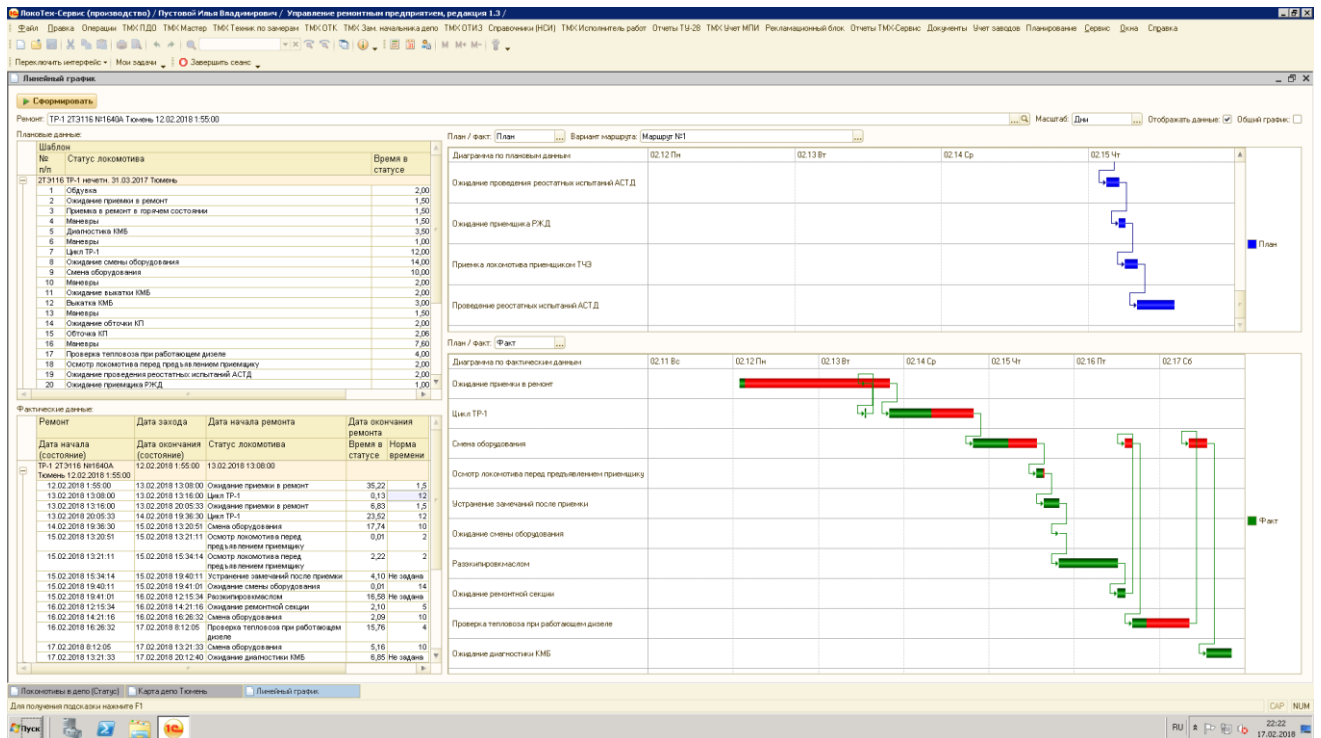


Рисунок 5 – Сетевой график: визуальное оперативное управление ТООР

АСУ «Сетевой график» в апреле 2018 года внедрена в работу производственно-диспетчерских отделов (ПДО) 85 сервисных локомотивных депо (СЛД) компании ООО «ЛокоТех-Сервис», входящей в группу компаний «ЛокоТех», полностью внедрена в 24 СЛД, где используется на рабочих местах ПДО, отделов главного технолога, безопасности движения, технического контроля, у мастеров цехов, на складе, в бухгалтерии, в отделе труда и заработной платы. Данные АСУ доступны руководителям всех уровней. Для работы в АСУ слесарей в цехах установлены так называемые информационные киоски.

Опыт эксплуатации системы показал, что психологический барьер работы специалистов в АСУ преодолевается достаточно быстро. При этом удаётся отказаться от бумажных учётных документов. В группе компаний «ЛокоТех» принято решение о тиражировании системы во всех сервисных локомотивных депо (85 СЛД) сервисной компании «ЛокоТех-Сервис».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, направленные на повышение эффективности функционирования производственных процессов технического обслуживания и ремонта локомотивов (ТОиР) в сервисных локомотиворемонтных предприятиях. Основные научные и практические результаты диссертационной работы состоят в следующем.

1. Разработана информационно-динамическая модель управления производственными 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 локомотивов; планирование ТОиР; внутрипроизводственное планирование; управление ТОиР при заходе локомотива на ремонт; 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, в т.ч. метод принятия решений по определению фактически необходимого объёма работ при проведении ТОиР локомотивов.

2. Выполнен статистический анализ показателей работы сервисных локомотивных депо. Сделан вывод о доминировании логистических потерь времени локомотивов. В ожидании ТОиР теряется более 50 % времени. Также большие потери связаны с проведением цикловых ремонтов объёма ТО-2, ТО-3 и ТР-1 – более 15 %. Непланные ремонты с учётом ожидания и пересылки составляют 23 % потерь КТГ.

3. Для практической реализации модели разработаны классификатор идентификации отказов деталей, узлов и агрегатов локомотивов по результатам мониторинга их технического состояния и классификатор выполняемых работ по восстановлению их работоспособности. Каждый классификатор состоит из семи независимых иерархических структур: источник информации, причины, четырёх-уровневый классификатор оборудования, тип проявления, последствий, места и времени события и др.

4. Разработаны ключевые показатели эффективности организации управления ТОиР в сервисных локомотивных депо, включая математические методы их расчёта.

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 деталей и материалов на складе ремонтного предприятия (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.

6. 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.

7. 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 эффективности и качества, позволяющая комплексно контролировать эффективность управления ТОиР по предложенной модели.

8. Разработанная модель внедрена в работу сервисной локомотивной компании ООО «ЛокоТех-Сервис», входящей в группу компаний ООО «ЛокоТех», в виде информационно-управляющей системы АСУ «Сетевой график». Система является информационно-технологической основой организации производственных процессов ТОиР локомотивов. Внедрена в производственно-диспетчерских отделах 85 сервисных локомотивных депо для планирования ремонтов. В полном объёме внедрена в 24 СЛД. В группе компаний ООО «ЛокоТех» принято решение о внедрении АСУ в полном объёме во всех СЛД.

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. Пустовой, И.В. Ключевые показатели эффективности информационно-динамической модели управления сервисным техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов [Текст] / И.В. Пустовой // Вестник УрГУПС. – 2018. – № 2 (38). – С. 91–102 (**по перечню ВАК Минобрнауки России**).
5. 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.
6. Пустовой, И.В. Сетевое планирование ремонта сервисных локомотивов [Текст] / И.В. Пустовой, И.И. Лакин // Локомотив. – 2015. – № 7(703). – С. 6–9.
7. 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. 34–354.
8. 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.
9. 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 обслуживания локомотивов». – М. : ООО «Локомотивные технологии», 2015. – С. 189–193.
10. 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.
11. 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 междуна-

родным участием «Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов». – ОмГУПС, 2016. – С.42–48.

12. 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 д-ра техн. наук, проф. Ю.В. Ломоносова «Локомотивы. XXI Век». – СПб : ПГУПС, 2016. – С. 242–245.

13. Пустовой, И.В. Автоматизация управления ремонтом локомотивов в сервисной компании «Локомотивные технологии» [Текст] / И.В. Пустовой // Локомотив. – 2016. – № 12 (720). – С. 2–4.

14. Лакин, И.К. Проблемы внедрения информационных технологий в локомотивных депо [Текст] / И.К. Лакин, И.В. Пустовой // Локомотив. – 2017. – № 2 (722). – С. 11–13.

15. 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». – Иркутск : ИрГУПС, 2017. – С. 365–369.

16. Пустовой, И.В. Научные аспекты автоматизации управления сервисным ТОиР [Текст] / И.В. Пустовой, А.А. Аболмасов // Сборник трудов IV Международной конференции «Локомотивы. XXI Век». – СПб : ПГУПС, 2017. – С. 337–341.

17. 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 железнодорожному образованию в Забайкалье: образование – наука – производство». – Чита : ЗаБИЖТ ИрГУПС, 2017. – С. 78–83.

18. Черемисин, В.Т. Автоматизация поиска и устранения неисправностей локомотива в сервисных депо [Текст] / В.Т. Черемисин, И.В. Пустовой // Локомотив. – 2017. – № 8. – С. 12–14.

19. 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. 79–83.

20. Черемисин В.Т. Роль информационных технологий в обеспечении надежности локомотивов [Текст] / В.Т. Черемисин, И.В. Пустовой // Локомотив. – 2017. – № 9. – С. 16–18.

21. 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

05.02.22 – Организация производства (транспорт)

Подписано в печать: 02.07.2018.
Формат 60×84 1/16. Усл. печ. л. 1,1.

Типография ОмГУПС. 2018. Тираж 100 экз. Заказ 169.
644046, Омск, пр. Маркса, 35