

На правах рукописи



Кизим Алексей Владимирович

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ
ПРОЦЕССОМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ,
РЕМОНТА И МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации
(информационные технологии и промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Волгоград – 2021

Работа выполнена на кафедре «Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный технический университет».

Научный консультант доктор технических наук, профессор,
Кравец Алла Григорьевна.

Официальные оппоненты: **Курейчик Виктор Михайлович**
доктор технических наук, профессор,
ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», кафедра систем автоматизированного проектирования, профессор;

Цыганов Владимир Викторович
доктор технических наук, профессор,
ФГБУН «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН», лаборатория активных систем, главный научный сотрудник;

Юсупова Нафиса Исламовна
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», факультет информатики и робототехники, декан.

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Защита состоится « ____ » _____ 2021 г. в ____⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.028.08, созданного на базе ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» по адресу: 400005, г. Волгоград, пр. Ленина, д.28, ауд.209.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» и на официальном сайте ФГБОУ ВО «ВолгГТУ» www.vstu.ru по ссылке <http://www.vstu.ru/upload/iblock/03c/03c741a2649f33f3fdb6eb92520cde50.pdf>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2021 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 212.028.08



Орлова Юлия Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ¹

Актуальность темы исследования

Производительность любого предприятия напрямую зависит от работоспособности его оборудования. В производственной сфере важной частью процесса организации выпуска продукции является обеспечение эксплуатации оборудования различного назначения. Под обеспечением эксплуатации оборудования подразумевается не только выполнение производственных операций, но еще техническое обслуживание и ремонт оборудования (ТОиР). Бесперебойное функционирование оборудования обеспечивают механические службы предприятия или специализированные контрактные сервисные организации. Работоспособность оборудования обеспечивается за счет качественного, своевременного и безопасного проведения технического обслуживания и ремонта оборудования при рациональном использовании ресурсов.

Особенное значение теме исследования придает то, что Правительство РФ в 2018 г. утвердило национальную программу «Цифровая экономика Российской Федерации». Цель программы - системное развитие и внедрение цифровых технологий во все области жизни. Общемировая концепция современного производства «Индустрия 4.0» подразумевает не только широкое применения информационных технологий в производстве, а также создание новых поколений оборудования, объединенных в одну цифровую экосистему. Базовыми компонентами управления в производственной отрасли являются модернизация и цифровая трансформация производственных операций, обеспечения эксплуатации оборудования, процессов поддержки принятия решений.

При этом, необходимо учитывать, если в производстве находится более 50% полностью амортизированных машин и оборудования, такое производство признается деградировавшим и объявляется банкротом. К сожалению, в таком состоянии находится значительная часть промышленных производств в России. С другой стороны, имеются примеры модернизации и организации новых производств. При этом возникают задачи организации эффективной эксплуатации оборудования «с нуля», без наличия статистических данных и подчас без полной поддержки производителя оборудования по истечению гарантийного срока. Необходимо использовать эффективные системы организации рациональной эксплуатации оборудования. Одним из способов повысить конкурентоспособность предприятия является повышение эффективности работ ТОиР оборудования или так называемый принцип бережливого подхода к производству.

Многие производственные предприятия вынуждены в новых условиях самостоятельно решать проблему обеспечения непрерывного функционирования своего оборудования. Работоспособность оборудования напрямую влияет на производственно-финансовые показатели предприятия и его экономическое состояние. В составе затрат по организации производства ремонт оборудования может составлять до 30-40%. Поэтому решение задачи обеспечения организации эффективной эксплуатации оборудования имеет достаточно большое значение.

Таким образом, тематика исследования является актуальной.

¹ Автор выражает благодарность д.т.н., проф. [Камаеву В.А.], определившему основную идею и стратегическое направление исследований, а также научному консультанту Кравец А.Г. за помощь в анализе результатов и подготовке диссертации; Елину А.Г., Кофанову Ю.Н., Дуросову В.М., Мельнику Ю.В. и Матохиной А.В. за предоставленные возможности по проведению и апробации, обсуждение результатов исследований; Линеву Н.А., Минакову В.А. и Чикову Е.В. за помощь в реализации идей в программных системах; а также всем, кто вдохновлял и помогал реализовывать идеи.

Степень разработанности темы исследования

Управление ТОиР вообще охватывает широкий круг проблем, таких как структурная организация, способы исследования, контроль и повышение надежности оборудования, календарное планирование, которым посвящены работы В.Н. Буркова, М. Месаровича, Д.А. Новикова, И. Такахары (оргсистемы), Н.И. Воропая, Ю.Б. Гука, Э.А. Лосева, Л.А. Мелентьева, А.В. Мясникова, А.Н. Назарычева, О.А. Николайчук (надежность), Р.В. Конвея, Л.В. Миллера, В.А. Сафроненко, В.С. Танаева, Я.М. Шафранского (теория расписаний) и других.

Общие вопросы управления производством освещены в работах Д.В. Александрова, В.В. Кульбы, Р.И. Макарова, А.Г. Мамиконова, Б.Я. Советова, В.В. Цыганова, В.Д. Чертовского, Н.И. Юсуповой и др. Повышением эффективности управления состоянием технических объектов занимались: А.Е. Акиннеев, А.Авиженис, Е.Ю. Барзилович, Р. Барлоу, И.А. Биргер, Г.Б. Бурдо, В.Г. Воробьев, В.А. Ведешенков, В.В. Глухов, Б.В. Гнеденко, В.А. Горшков, А.А. Ицкович, В.В. Кашковский, В.Д. Константинов, С.В. Крауз, В.М. Курейчик, Ю.Ф. Мухопад, Ф. Прошан, К. Райншке, Е.А. Румянцев, Н.П. Сергеев, И.М. Синдеев, Н.Н. Смирнов, Е.С. Согомонян, В.И. Шаманов, Т.Т. Allan, S. Tolda, H. Fujiwara, K. Kinoshita, M. Guida, C. Kime, S. Mallela, G.M. Masson, J. Russel, A. J. Truelove и др.

Известно множество исследований по обеспечению надежности машин и систем (например, работы Б.В. Гнеденко, А.Д. Соловьева, Ю.К. Беляева, А.М. Половко, А.Л. Райкина, Ю.Г. Заренина, И.А. Ушакова, Б.А. Козлова, Ю.Н. Руденко, Ю.Н. Кофанова, В.П. Стрельникова, В.М. Труханова, Ф. Байхельта, П. Франкена, К. Райншке и других), и в меньшей степени – публикаций по научной организации ТОиР (известны работы Р.З. Акбердина, А.В. Ахумова, Б.В. Власова, В.Н. Гончарова, Л.Н. Драгуна, М.В. Ильенченко, Н.К. Зайнашева, В.С. Кабакова, А.Н. Климова, Р.Н. Колегаева, М.Н. Краснянского, М.В. Макаренко, С.Ф. Покропивного, Л.Г. Поповой, Н.Ф. Ревенко, О.С. Сабденова, Н.С. Сачко, В.В. Семёнова, В.М. Семёнова, Е.К. Смирницкого, С.А. Хейнмана, З.Б. Хмельницкой, Н.Г. Чумаченко, В.К. Чунихина, В.А., А.И. Ящуря и других). По отраслевым решениям в области управления эксплуатацией оборудования – Л.И. Андреева (горнодобывающее предприятие), Н.В. Анцева (металлообработка), М.Н. Краснянский (химические аппараты), М.А. Матюшин (космическая техника), М.А. Сергушичева (энергетика), К.Л. Слитников (автомобили), В.Я. Седуш, Н.А. Ченцов (металлургия), В.П. Мешалкин и Е.Р. Мошев (нефтехимия) и др.

Таким образом, сложилась **проблемная ситуация**, сущность которой заключается в том, что:

- методологические основы поддержки ТОиР имеют существенные несовершенства в контексте современного состояния науки и технологий,
- отсутствуют научно-методологические подходы к обеспечению максимальной готовности оборудования с учетом его жизненного цикла,
- исследования и разработки по организации ТОиР промышленного оборудования имеют частный характер,
- отсутствует единая программно-информационная и методическая платформа обеспечения эффективной работы промышленного оборудования (Про).

В диссертационной работе решается актуальная научно-техническая **проблема** разработки нового подхода, связанного с созданием моделей, методов и алгоритмов, а также платформы разработки приложений для интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении процессом технического обслуживания, ремонта и модернизации для повышения эффективности

промышленного оборудования на всех этапах его жизненного цикла. Решение этой проблемы имеет научную и практическую ценность для построения эффективных систем поддержки принятия решений по управлению состоянием технических объектов в различных предметных областях. В работе в качестве *объекта исследования* выступает процесс ТОиР промышленного оборудования на протяжении его жизненного цикла, а *предметом исследования* являются методы поддержки принятия решений по организации ТОиР для обеспечения работоспособности оборудования на основе интеллектуальных технологий.

Цели и задачи

Целью работы является создание научно-методологических основ интеллектуальной поддержки принятия решений, направленной на повышение эффективности процесса технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования. Для достижения поставленной цели необходимо решить *задачи*:

- 1) Провести системное исследование процесса технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования.
- 2) Разработать теоретические основы поддержки принятия решений при управлении процессом ТОиР, включающие комплекс моделей и методов решения задач:
 - модели представления данных и знаний о процессе ТОиР на различных уровнях описания и этапах жизненного цикла;
 - метод целенаправленного улучшения ТОиР за счет разработки систем сбалансированных показателей и ключевых показателей эффективности;
 - метод поддержки принятия решений (ППР) при определении стратегии ТОиР.
- 3) Разработать алгоритмы ППР, позволяющие реализовать предложенные модели и методы.
- 4) Разработать архитектурные и программные решения и проект программно-информационной платформы поддержки ТОиР.
- 5) Реализовать модели, методы, программно-информационную платформу для задач поддержки ТОиР и оценить эффективность результатов.
- 6) Создать инженерные методики разработки программного обеспечения для автоматизации ТОиР и внедрения программно-информационной платформы.

Научная новизна

Впервые предложена совокупность моделей и методов программно-информационной поддержки принятия управленческих решений по обеспечению работоспособности промышленного оборудования, реализующая комплексный подход к организации системы его технического обслуживания, ремонта и модернизации, включающая в себя:

1. Системологическую модель процесса ТОиР, а также частные структурно-функциональные и потоково-информационные модели процесса ТОиР, которые в отличие от существующих моделей сквозного электронного описания включают информацию о функциях оборудования, что позволяет рассматривать процесс ТОиР как более целостную систему на протяжении всего жизненного цикла (ЖЦ) оборудования (п.1 паспорта специальности).
2. Систематизацию этапов, задач, методов и средств поддержки ТОиР, в рамках которой впервые исследованы стадии жизненного цикла промышленного оборудования в качестве системообразующего фактора, определен состав методов и средств организации ТОиР для каждой стадии, что позволяет повысить работоспособность промышленного оборудования с учетом стадии его ЖЦ (п.1).
3. Информационную модель знаний об объекте ТОиР, впервые реализующую механизм интеграции разнородной информации об объекте ТОиР на основе

исследования структуры объекта, его параметров и характеристик, а также осуществляемых данным объектом технических функций, что позволяет реализовать более эффективный механизм адаптации управляющих воздействий в процессе ТОиР к текущему состоянию объекта (п.7, 10 паспорта).

4. Предложена концепция программно-информационной поддержки проактивного ТОиР промышленного оборудования, впервые реализующая подход непрерывного улучшения для процесса ТОиР, которая позволяет реализовать и оценить эффективность стратегий ТОиР за счет систем сбалансированных показателей (СБС), ключевых показателей эффективности (КПЭ) и прогнозирования состояния промышленного оборудования, для реализации которой разработаны:

а) метод непрерывного улучшения процесса ТОиР ПрО, отличающийся имплементацией систем сбалансированных показателей и ключевых показателей эффективности, позволяющий целенаправленно улучшать процесс ТОиР ПрО на основе их анализа (п.4 паспорта);

б) метод ППрР при выборе стратегии ТОиР ПрО с алгоритмами определения ремонтных воздействий, отличающийся от известных реализацией механизмов когнитивного моделирования для получения первичных оценок состояния оборудования, учетом возможных рисков, а также реализацией типизированного процесса принятия решения для выбора и упорядочения альтернатив, позволяющий определять стратегии и необходимые ремонтные воздействия ПрО (п.10 п).

5. Метаонтологическая модель ТОиР промышленного оборудования, отличающаяся новым способом формирования таксономического ядра онтологии, включающего в себя классификацию промышленного оборудования, формализованные знания о процессе ТОиР и методах поддержки ТОиР на каждой стадии жизненного цикла, позволяющая реализовать интеллектуальную поддержку и интегрирующая классификацию промышленного оборудования, формализованные знания о процессе ТОиР и методах поддержки ТОиР на каждой стадии жизненного цикла (п.10 паспорта).

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в выполнении новых теоретических и прикладных исследований системных связей и закономерностей функционирования и развития объектов, процессов технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования, эффективных методов и алгоритмов программно-информационной поддержки, с использованием современных методов обработки информации, ориентированных на повышение эффективности процесса. Полученные результаты могут быть использованы для различных классов промышленного оборудования.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в том, что полученные результаты позволяют решать задачи поддержки ТОиР промышленного оборудования. На основе построенных моделей разработаны архитектурные и программные решения, и проект программно-информационной платформы поддержки ТОиР ПрО. Использована многоуровневая архитектура системы, содержащая программную реализацию решений по организации данных, метаданных и пользовательского интерфейса для сокращения затрат на проектирование и реализацию новых систем, снижения требований к разработчикам новых бизнес-решений. Предложено использование интеллектуальных агентов для решения задач. Реализованы алгоритмы поддержки задач ТОиР, отраслевые программно-информационные решения по поддержке эксплуатации оборудования и программная система поддержки производственной

деятельности подрядного сервисного ремонтного предприятия по организации ТОиР оборудования заказчика. Разработана архитектура многоагентной системы поддержки ТОиР. Разработана архитектура и платформа быстрой разработки приложений для поддержки ТОиР.

Результаты работы использовались при выполнении научно-исследовательских работ, поддержанных РФФИ и правительством РФ, а также по заказам предприятий и организаций. На основе разработанных моделей и алгоритмов были решены задачи поддержки ТОиР для различных объектов. Разработаны рекомендации по организации программно-информационной поддержки ТОиР, расширению разработанного программно-информационного комплекса, развертыванию, внедрению и сопровождению его систем. Результаты также используются в учебном процессе вузов.

Разработанная концепция программно-информационной поддержки ТОиР ПрО и инструментальные средства позволяет:

- обеспечить эффективное управление процессом и службами ТОиР на основе более рациональной организации и программно-информационных технологий;
- осуществлять объективный анализ эффективности служб ТОиР;
- осуществлять эксплуатацию промышленного оборудования с большим коэффициентом использования и характеристиками надежности;
- производить разработку и внедрение средств программно-информационной поддержки ТОиР оборудования предприятий.
- повысить эффективность и качество обслуживания оборудования, сократить затраты до 15%, и повысить общую эффективность организации процессов ремонта и технического обслуживания до 20%.

Типовые решения при дальнейшем развитии могут быть адаптированы под конкретные предприятия.

Методология и методы исследования

В работе использованы методы системного анализа и моделирования, теорий: управления; принятия решений; исследования операций; проектирования больших программно-информационных систем, теории графов, И-Или-графов, искусственного интеллекта, использования агентного подхода и мультиагентных систем, когнитивного анализа, контент – анализа литературы, обработки данных; прогнозирования, математического и имитационного моделирования, а также теоретического, прикладного и объектно-ориентированного программирования.

Положения, выносимые на защиту

1. Системологическая модель процесса ТОиР, а также частные структурно-функциональные и потоково-информационные модели процесса ТОиР, позволяющие описать процесс ТОиР как целостную систему на протяжении ЖЦ.
2. Информационная модель знаний об объекте ТОиР, интегрирующая разнородную информацию об объекте ТОиР (структуру объекта, его параметров и характеристик), а также о реализуемых данным объектом технических функциях, что позволяет реализовать механизм адаптации управляющих воздействий в процессе ТОиР к текущему состоянию объекта.
3. Концепция программно-информационной поддержки проактивного ТОиР промышленного оборудования, которая позволяет реализовать и оценить эффективность стратегий ТОиР за счет системы сбалансированных показателей и прогнозирования состояния промышленного оборудования.
4. Метод непрерывного улучшения процесса ТОиР ПрО, позволяющий целенаправленно улучшать процесс ТОиР ПрО на основе анализа ключевых показателей эффективности.

5. Метод ППрР при выборе стратегии ТОиР ПрО, позволяющий определять стратегии и необходимые ремонтные воздействия.
6. Метаонтологическая модель ТОиР промышленного оборудования, позволяющая реализовать интеллектуальную поддержку и интегрирующая классификацию промышленного оборудования, формализованные знания о процессе ТОиР и методах поддержки ТОиР на каждой стадии жизненного цикла.
7. Архитектура и программная реализация платформы быстрого прототипирования программных систем поддержки ТОиР оборудования, реализующие предложенные методы и алгоритмы, что позволяет обеспечить требуемую функциональность для задач интеллектуальной поддержки и принятия решений о стратегиях ТОиР ПрО.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов диссертационного исследования определяется корректным использованием методов исследований и математического аппарата, а также подтверждается результатами проведенных вычислений и успешного внедрения разработанных программных систем.

Работа выполнена в рамках одного из научных направлений Волгоградского государственного технического университета, серии НИР, выполненных по заказу Минобрнауки РФ (Проектная часть госзадания №2.1917.2014К, ответственный исполнитель); НИР №201.06.01.014 НТП "Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники"; и ряда работ, выполненных по заказу: ОАО «Баррикады» (договор №443/1-204-11, х/т №39/356-11, ответственный исполнитель); РФФИ (грант №13-01-00798а «Интеллектуальная поддержка рациональной эксплуатации технических систем на основе онтологического инжиниринга, агентного и математического моделирования и методов поддержки принятия решений и управления» и 16-07-00635а «Интеллектуальная поддержка использования и модернизации технических объектов на протяжении жизненного цикла»), проектов TEMPUS: JEP_27082_2006 (NCTIPM); 144641- TEMPUS-1-2008-1FITEMPUS-JPCR (INTOUR); Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (программа СТАРТ), ООО «Волгоградсервис», ООО «Лукойл-Информ», ООО «Таганай» и другие, в том числе более 20ти НИР и проектов разработки программных систем по теме диссертации, в которых автор являлся научным руководителем либо ответственным исполнителем.

Основные результаты диссертации реализованы в Волгоградском государственном техническом университете, Рязанском государственном радиотехническом университете (курсы «Автоматизация технологических процессов и производств» и «Автоматизация управления жизненным циклом продукции»), Российском университете дружбы народов (курс «Горные машины и оборудование»), Волжском строительном институте Волгоградской архитектурно-строительной академии (г.Волжский), ОАО ПО «Баррикады» и ОАО «ЦКБ Титан» (теперь АО «ФНПЦ «Титан-Баррикады»), ООО «Волгоградсервис», ООО «АРМСофт», ОАО «ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка», ОАО «ВГТЗ», ЗАО «ВЗТМ», ООО «Магни», ООО «Таганай» и других организациях в форме методов, методик, технологий и программно-информационных средств организации ТОиР и его программно-информационной поддержки.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на Международных конференциях «Системные проблемы надежности, качества, информационных и электронных технологий «Инноватика» (Москва-Сочи, 2004–2015гг., МИЭМ/ВШЭ); IT + S&E` (Гурзуф, 2004–2016); «ТРИС» (Таганрог, 2011-2012), JCKBSE 2014 (Volograd, Russia, September 17-20, 2014); CENTERIS /

ProjMAN / HCist 2013-2017 (Португалия, Испания); Innovation Information Technologies (Praque, 2014, МИЭМ ВШЭ); Конгрессах по интеллектуальным системам и информационным технологиям IS-IT и AIS (Дивноморское, ТТИ ЮФУ, 2004-17 гг.); «Нечёткие системы и мягкие вычисления (HCMB-2009); "САПР и информационные системы" (Воронеж, 2014 г.); «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития» 2012-14 гг. (Проект SWorld); Intelligent Systems and Agents (ISA 2014, Lisbon); "Теория активных систем 2014" (TAC-2014), ИПУ РАН (17-19 ноября 2014г.), «Управление большими системами» (Волгоград, 2015), SMART (Индия, 2016 и 2018гг.), AICT (Азербайджан, 2016, Москва 2017), CITDS (Волгоград, 2015, 2017), ITSMSM 2016 (Томск), I2T (Чехия, 2017), CAD/CAM/PDM – 2017, ММТТ (Санкт-Петербург 2017, 2019), «Прогресс транспортных средств и систем» (2018), "Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине" (Томск, 2018) и др.; а также на научных семинарах институтов и вузов (в том числе ИПУ РАН, МГТУ им. Баумана, Томский политехнический университет, Воронежский государственный технический университет, и др.)

Материалы диссертационного исследования легли в основу курсов «Современные компьютерные технологии в науке и производстве», «Киберфизические системы и технологии», «Системы поддержки принятия решений», «Системы искусственного интеллекта», «Онтологический инжиниринг и семантические технологии».

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 210 научных работах, основные из которых приведены в конце автореферата, в том числе 1 монографии, 33 – в изданиях, рекомендованных ВАК России, более 30 публикаций в международных источниках (из них 20 проиндексированы в Scopus и более 20 Web of Science), 92 РИНЦ, и 7 отчетах о НИР. Получены 4 свидетельства о регистрации программ на ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 165 наименований на 17 страницах и 5 приложений. Общий объем диссертации 289 страниц, основная часть содержит 57 рисунков и 8 таблиц.

Соответствие паспорту научной специальности

Полученные в диссертационной работе результаты соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информационные технологии и промышленность), а именно пункту 1 – теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; пункту 4 – разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; пункту 5 – разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; пункту 7 – методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем; пункту 10 – методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах.

Сведения о личном вкладе автора

Личный вклад автора заключается в разработке основных теоретических положений, выносимых на защиту; в разработке методов и методик, вошедших в структуру концепции; в постановке задач для разработки алгоритмов методов. Автором ставились задачи разработки компонент программного и информационного обеспечения. Вклад автора в основные опубликованные работы

был определяющим. Все представленные в диссертации положения, выносимые на защиту, получены лично автором, либо под его руководством.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируется цель и задачи исследования, представляются основные научные и практические результаты, дается краткое содержание разделов работы, представлены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе выполнен анализ проблемы организации эффективного функционирования промышленного оборудования (ПрО), проведен анализ современных методов и систем управления организации техническим обслуживанием и ремонтами промышленного оборудования, основных проблем в области научной поддержки организации работ по ТОиР ПрО. Исследованы проблематика, цели, задачи организации ТОиР. Приведены основные понятия и определения предметной области, определено понятие ПрО как объекта. Выделены классы ПрО общего назначения: металлорежущее, деревообрабатывающее, кузнечно-прессовое, литейное электропечное, дробильно-размольное, сортировочное, электрические машины, компрессорно-холодильное оборудование и насосы, вентиляция, кондиционирование, трубопроводы общехозяйственные, подвижный состав автотранспорта.

В результате анализа определены требования к системе поддержки эксплуатации оборудования: обеспечить надежное функционирование оборудования при ограничениях, накладываемых производственной программой; своевременно и точно оценивать состояние оборудования; организовать рациональное обслуживание и ремонт при существующих затратах; определять необходимые своевременные ремонтные воздействия; выполнять ТОиР наилучшим эффективным образом. Средства поддержки рационального обслуживания оборудования позволят более обоснованно устанавливать виды, объем и сроки ремонтных воздействий; полнее использовать материальные (запчасти и материалы, ресурсы оборудования) и трудовые ресурсы (обслуживающий персонал/операторы, ремонтный персонал); успешнее планировать работу ремонтных служб; совершенствовать систему работ по обслуживанию и ремонту; увеличить срок эксплуатации оборудования; получать большую прибыль.

Отмечено, что ПрО является технической системой (или «техническим объектом», ТО). Существует иерархическое соподчинение ТО различных уровней. Так, например, машины или станки, являющиеся элементами технологической линии или цеха, могут быть разделены на агрегаты или блоки, которые, в свою очередь, состоят из узлов и деталей. В связи с этим введем понятие надсистемы. Почти у любого ТО существует надсистема, т. е. другой ТО, в который он функционально включается или входит как отдельный элемент. Обработка вещества, энергии или сигналов представляет собой выполнение с помощью ТО некоторой четко определенной последовательности операций. Каждый ТО может быть представлен описаниями, имеющими иерархическую соподчиненность. Описания характеризуются свойствами: 1) каждое последующее описание является более детальным и более полно характеризует ТО по сравнению с предыдущим; 2) каждое последующее описание включает в себя предыдущее.

Проведено исследование жизненного цикла ОО в аспекте организации ТОиР. Признаки объекта меняются при его переходе из одного состояния в другое. Последовательность таких состояний объекта, характеризующихся относительно

стабильным набором свойств, является жизненным циклом ТО. При этом под существованием объекта понимается не только существование его в виде материального тела, но и в виде некоторого описания: потребность в объекте, технические требования, набор функций объекта и т.д. Представление об этапах жизненного цикла объекта техники, с одной стороны позволяет правильно, с учетом всех существенных факторов поставить задачу проектирования и модернизации, т.е. сформировать техническое задание, которое должно учитывать все возможные будущие состояния проектируемого объекта и определять требования к ТО для этих состояний. С другой стороны, детальное рассмотрение и изучение этапов жизненного цикла, относящихся к процессам проектирования, дает основу для выделения и формализации проектных процедур с целью их рационализации и автоматизации.

Жизненный цикл объекта техники представлен в виде последовательности 15 этапов (Таблица 1). Для сквозного описания ТО на протяжении различных стадий проектирования используют цифровых двойников (Digital Twins) – интегрированное электронное описание изделия – набор данных различного типа, полученных в ходе проектирования различными способами, преобразованных в стандартизованный вид и достаточных для решения задач последующих этапов ЖЦ. Такой способ организации данных о ТО важен для стыковки стадий ЖЦ с целью минимизации потерь информации и ресурсов на ее преобразование. В этой связи использование интегрированных моделей при решении задач организации ТОиР ПрО является необходимым условием рациональной организации средств информационной поддержки. Помимо данных о ТО в модель должны включаться знания о способах их использования, эксплуатации и обслуживания. Рассмотрены жизненные циклы систем предприятия и ЖЦ оборудования как одного их элементов системы ЖЦ предприятия.

Стоимость затрат на оборудование состоит из общих совокупных затрат на протяжении жизненного цикла оборудования. В общем виде затраты на ЖЦ оборудования LCC составляют:

$$LCC = \sum C_i, \text{ где } C_i \in \{C_{ic}, C_{in}, C_e, C_o, C_m, C_s, C_{env}, C_d\},$$

C_{ic} – первоначальная стоимость покупки, C_{in} – стоимость установки, обучения и ввода в эксплуатацию, C_e – затраты энергии, C_o – стоимость нормальной эксплуатации, C_m – стоимость ТОиР, C_s – стоимость простоев (недовыпуска продукции), C_{env} – стоимость расходных материалов, необходимых для нормального функционирования оборудования, C_d – стоимость вывода из эксплуатации и утилизации оборудования и материалов. Соответственно, изменение стоимости любой фазы ЖЦ оборудования или элемента структуры затрат на его ЖЦ влечет за собой изменение совокупной стоимости LCC . Для повышения эффективности использования оборудования достаточным условием является снижение стоимости любой из компонент LCC . Более сильным решением является комплексный подход к одновременному снижению различных групп затрат, влияющих на величину LCC . Для его осуществления необходимо применение совокупности средств методической и программно-информационной поддержки в совокупности с математическими методами и алгоритмами.

Выделены стадии ЖЦ оборудования и задачи организации ТОиР ПрО применительно к различным стадиям его ЖЦ. В таблице 1 приведена систематизация стадий, задач, методов и средств поддержки ТОиР с учетом ЖЦ оборудования, которая позволяет сформировать стратегии ТОиР.

Описаны возможные события, происходящие с оборудованием (установка, приработка, нормальная эксплуатация), потоки отказов и показатели надежности.

Таблица 1 - Систематизация задач, методов и средств поддержки ТОиР с учетом ЖЦ оборудования

Стадии ЖЦ оборудования	Задачи обеспечения работы оборудования	Методы решения и методологические средства поддержки
Выявление потребностей	Определение характеристик обслуживания оборудования (время, периодичность, стоимость обслуживания)	Методы маркетинговых исследований, анализа эксплуатации подобного оборудования и/или прототипов
Проектирование	Разработка регламента обслуживания, ремонта, хранения, транспортировки, установки и утилизации оборудования	Методы аналитического и имитационного моделирования параметров надежности оборудования, FMEA (анализ причин отказов). Методы определения правил обслуживания и ремонта, хранения, транспортировки, установки и утилизации оборудования
Изготовление	Контроль соблюдения требований ТЗ	Мониторинг соблюдения технологии изготовления, параметров оборудования
Испытания и доработка	Определение надежностных характеристик изделия Корректировка регламента ТОиР	Проведение испытаний Статистическая обработка результатов, определение закономерностей отказов Адаптация регламента ТОиР
Хранение и транспортировка / Закупка	Соблюдение требований к хранению и транспортировке Выбор необходимого оборудования для закупки	Выбор/адаптация структуры ремонтной службы при создании производства /закупке оборудования/ модернизации. ППР при отборе оборудования по характеристикам, производителю (для эффективного ТОиР)
Ввод в эксплуатацию	Контроль соблюдения требований ввода в эксплуатацию испытания (монтаж, наладка)	Планирование работ по вводу в эксплуатацию Пуско-наладочные испытания
Эксплуатация	(Задачи описаны ниже)	(Методы решения описаны ниже)
Утилизация	Исследование свойств/ характеристик утилизируемого оборудования для корректировки регламента ТОиР Определение применимости узлов и деталей для дальнейшей эксплуатации в другом оборудовании	Дефектация Диагностика параметров работоспособных узлов для повторного использования Подбор аналогов по параметрам

Проведен анализ методов и подходов по организации ТО и ремонта техники, базовые схемы организации ТОиР (плановая, реактивная и проактивная на основе прогноза и мониторинга). Кратко эволюция подходов может быть описана схемой на Рис.1. Повышение эффективности организации исполнения ТОиР возможно за счет применения современных передовых методологий ТОиР, таких как проактивное обслуживание.

Проведен анализ существующих решений в области автоматизации ТОиР, определены преимущества и недостатки, имеющиеся тенденции. Проанализированы подходы к программной реализации поддержки ТОиР. Исследованы оценки эффективности организации работ по ТОиР, целесообразности применения средств автоматизации ТОиР. Проведен анализ средств автоматизации ТОиР (классы ERP, EAM и CMMS).

Сформулированы выводы о необходимости разработки комплекса средств поддержки ТОиР ПрО, цели и задачи исследования.

Во второй главе дана характеристика системы ТОиР промышленного оборудования, выполнена формализация процессов и разработка системологической модели организации проведения процесса технического

обслуживания и ремонта ПрО, построены частные модели, сформулирован набор задач программно-информационной поддержки ТОиР ПрО.

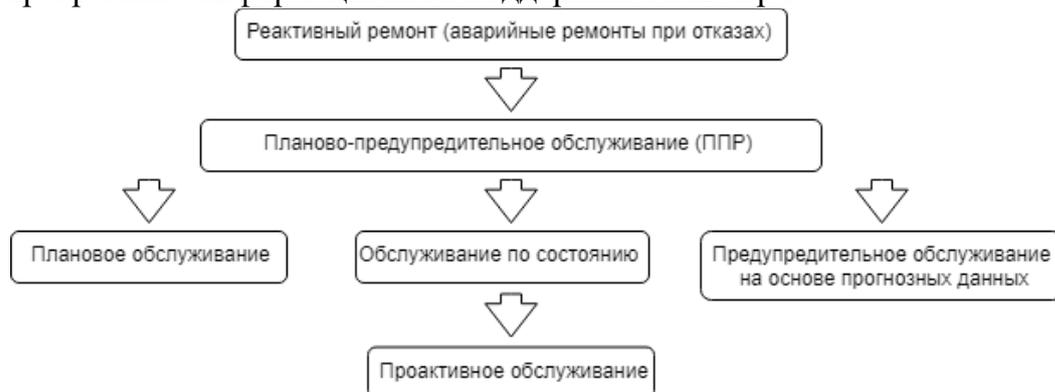


Рисунок 1 – Схема эволюции подходов к организации ТОиР.

На основании исследования типов ТОиР дана характеристика системы ТОиР: состав процесса ТОиР, объекты ТОиР, средства ТО и ремонта, субъекты, в том числе исполнители ТО и ремонта, и лица, выступающие его заказчиками, состав документации ТОиР. Проведен анализ потребностей в программно-информационной поддержке и наличии специализированного инструментария – средств поддержки ТОиР (ПО, методические, источники, стандарты).

Произведен системный анализ системы ТО и ремонта ПрО. Определены входные воздействия и реакция системы, составные элементы, внутренние связи. Предложена системологическая модель процесса ТОиР ПрО. Графическая интерпретация модели представлена на рис.2.

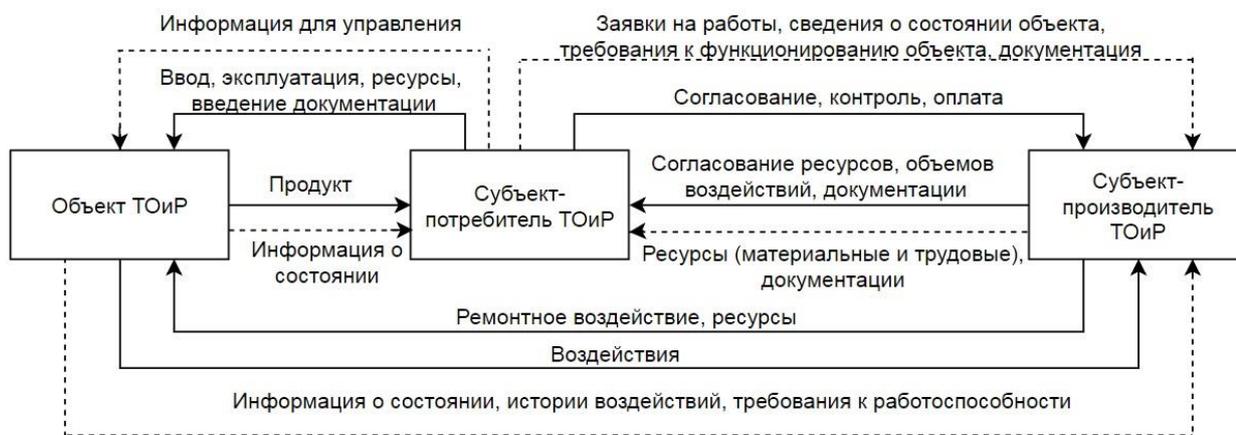


Рисунок 2 – Графическая интерпретация системологической модели процесса ТОиР.

Системологическая модель процесса ТОиР в общем виде: $Pr = \{E, O, I, S, N\}$, где E – структурные элементы процесса ТОиР (этапы, работы, операции, ремонтные воздействия), O – объекты ТО и ремонта (ПрО), I – субъекты ТО и ремонта, S – ресурсы ТОиР, в т.ч. средства, машины и инструменты, N – методические материалы (формы документов, стандарты, инструкции, нормативы, регламенты, руководящие документы, программно-методическое обеспечение (методы и алгоритмы, программное обеспечение)). Построенные модели позволили выделить состав структурных элементов процесса ТОиР.

В процессе сопровождения работы оборудования можно выделить следующие основные стадии: производство, подготовка ТОиР; проведение ТОиР; контроль состояния оборудования. Произведено описание процессов ТОиР для каждой стадии, а также для внеплановых работ по ТОиР.

Предприятие для проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту ПрО может использовать как собственные службы, к которым относятся: отделы главного инженера и механика, служба технического надзора, эксплуатационный персонал; – так и привлекать подрядные организации для выполнения отдельных задач либо комплексных мероприятий по ТОиР ПрО.

Исследована организационная структура служб главного инженера и механика, эксплуатационного персонала, подрядных организаций, специализирующихся на ремонте и обслуживании оборудования, описаны их задачи и функции. Исследованы роли субъектов ТОиР в процессе подготовки, проведения и контроля. Исследована проблема конфликта целей субъектов и пути его разрешения. Построены частные структурно-функциональные (Рис.3) и потоково-информационные (Рис.4) модели.

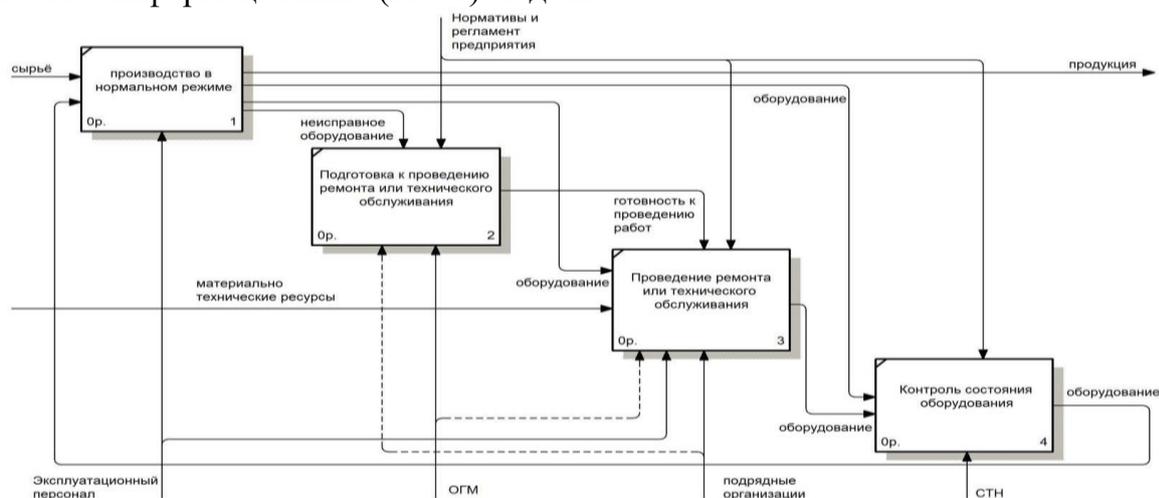


Рисунок 3 – Структурно-функциональная модель процесса ТОиР оборудования (фрагмент).

На основании проведенных исследований сформулирован набор задач программно-информационной поддержки процесса ТОиР:

1. Мониторинг основных параметров функционирования:

- определение значений контролируемых параметров, показателей;
- определение допустимости отклонений параметра.

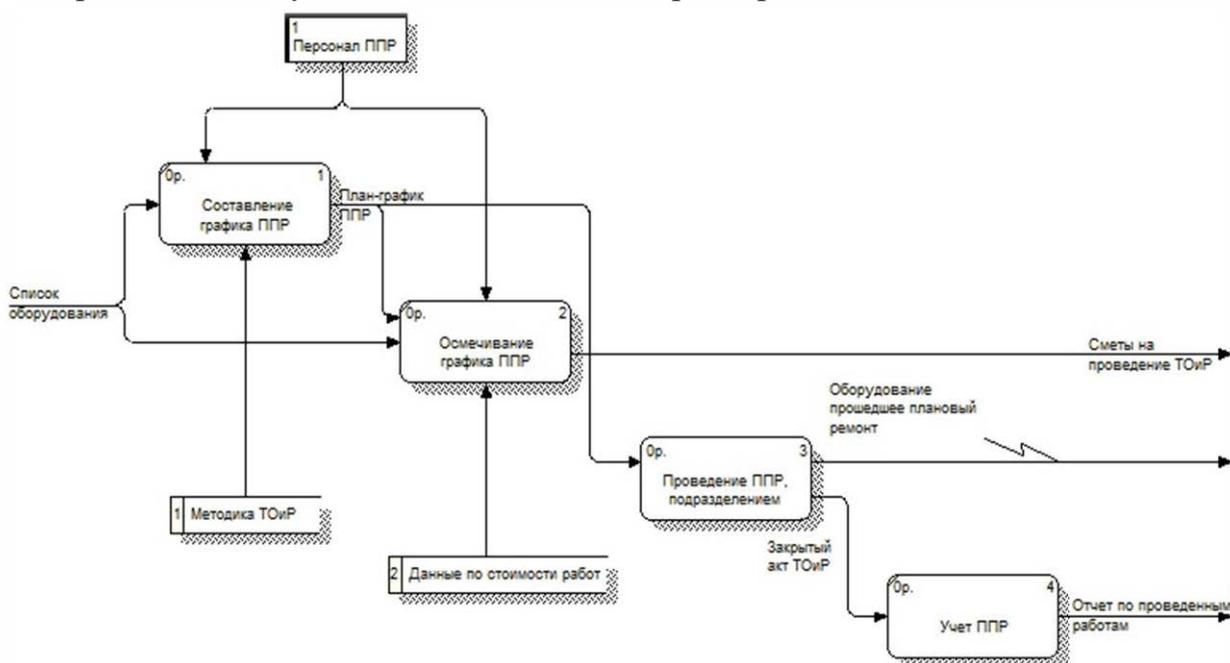


Рисунок 4 – Потоково-функциональная модель процесса ТОиР оборудования (фрагмент).

2. Диагностика:

- анализ состояния системы; – локализация проблемы;
- классификация проблемы; – выяснение причины девиации

3. Планирование будущих воздействий:

- прогнозирование отказов;
- планирование воздействий при возможных отклонениях параметров;
- планирование воздействий при неработоспособности.

4. Принятие решения о вмешательстве:

- необходимости и виде вмешательства; – способе воздействия.

5. Восстановление работоспособности:

- восстановление работоспособности при отказах – «ремонт»;
- задачи обслуживания для предупреждения нарушений работоспособности (профилактические воздействия; проведение плановых работ по предотвращению отказов);
- выделение ресурсов для восстановления работоспособности.

6. Контроль совершенных действий:

- определение новых значений контролируемых параметров;
- учет воздействий и изменений; оценка результативности.

7. Принятие решения об окончании вмешательства или новых воздействиях.

Сформулированы выводы о необходимости разработки единой модели описания структур, функций и параметров ПрО, а также операций над ними. Для задания отношений между концептами области знаний и хранения прецедентов необходимо использование онтологий. Для согласования и управления целями и параметрами процесса поддержки ТОиР должны использоваться системы сбалансированных показателей эффективности, а для их реализации - многоагентные системы.

В третьей главе проводится разработка научно–методологических основ поддержки процесса технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования. Предложена концепция программно-информационной поддержки ТОиР промышленного оборудования (рис. 5, 6):

1) Формализация данных и знаний о конкретном процессе эксплуатации и ТОиР определенного объекта:

- о структуре и функционировании объекта, субъектов, видах ремонтных воздействий, необходимых ресурсах.
- об истории работ, причинах и последствиях отказов.

2) Непрерывное улучшение обслуживания объекта:

- целенаправленное улучшение системы ТОиР объекта за счет применения системы показателей эффективности.
- выбор стратегии обслуживания объекта.
- определение ремонтных воздействий на объект.
- получение обратной связи, фиксация данных и знаний.

3) Поддержка построения системы обслуживания нового оборудования.

4) Поддержка модернизации оборудования.

Для более эффективного управления ТОиР необходимо применять разные подходы организации ТОиР к разным группам оборудования. Для сегментирования фонда оборудования по группам, в соответствии с применяемым к его ТОиР подходом, можно выделить ряд критериев оценки эксплуатационных свойств оборудования. Например, критичность оборудования (важность его постоянной работы), стоимость ремонта, сроки ТОиР и др. При этом используется экспертное

ранжирование оборудования по группам на основе ряда критериев.

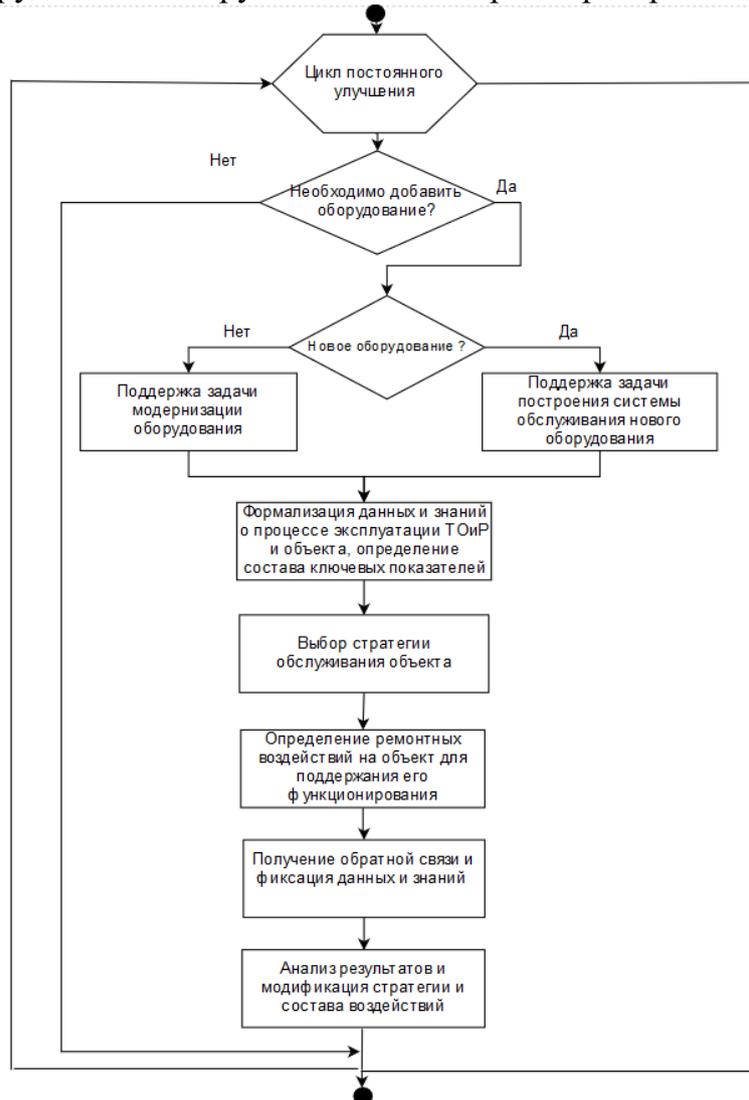


Рисунок 5 – Обобщенный алгоритм концепции программно-информационной поддержки ТОиР ПрО.

Одним из направлений оптимизации производительности и расходов для промышленных предприятий является повышение эффективности эксплуатации оборудования. Прибыль предприятия зависит от эффективности работы его оборудования, которая описывается коэффициентом полной эффективности оборудования (англ. Overall Equipment Efficiency (OEE)), произведением коэффициента готовности оборудования на показатели производительности и качества. $OEE = Av \times P \times Q$, где Av – коэффициент готовности оборудования; P – показатель производительности оборудования; Q – показатель качества. Коэффициент готовности оборудования $Av = OT / PPT$, где OT – операционное время работы оборудования; PPT – запланированное время работы оборудования. При этом $P = TP / (OT * IRT)$, где OT – операционное время работы оборудования; TP – количество произведенных единиц продукции; IRT – идеальная частота выпуска единицы продукции. Показатель качества $L = GP / TP$, где GP – количество единиц продукции, удовлетворяющих требованиям качества. Ведущие современные компании имеют значения OEE порядка 85-90%. Для оценки возврата инвестиций используется ROI – коэффициент возврата инвестиций, показатель рентабельности.

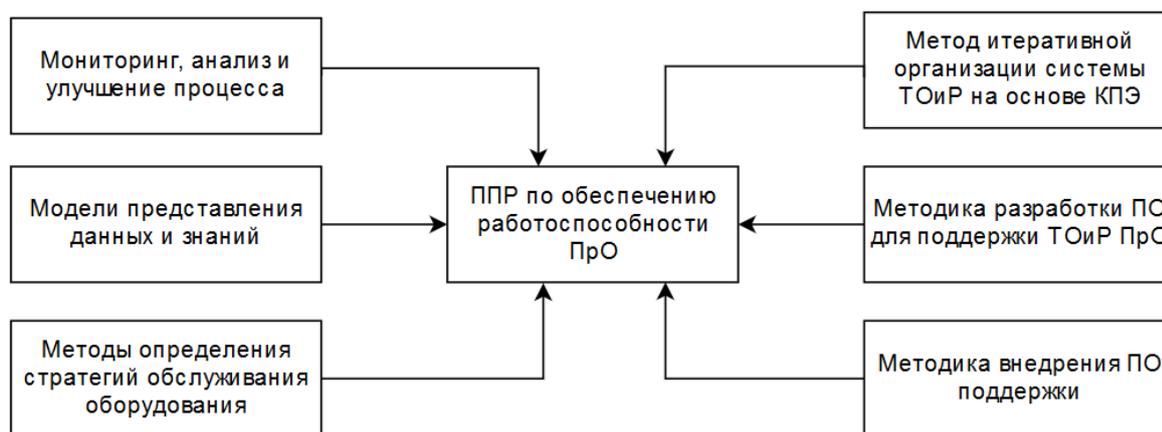


Рисунок 6 – Схема концепции поддержки принятия управленческих решений по обеспечению работоспособности промышленного оборудования.

Постановка задачи принятия решения. С формальной точки зрения задача принятия решений может быть охарактеризована следующим кортежем: $\langle A, E, S; T \rangle$, где A – множество альтернатив (вариантов решений), E – среда задачи принятия решений, S – система предпочтений лица, принимающего решение (ЛПР). Требуется выполнить некоторое действие T над множеством альтернатив A , например, найти наиболее предпочтительную альтернативу, линейно упорядочить множество допустимых альтернатив. При этом среда принятия решений $E = \langle C_R, C_M, P \rangle$, где C_R – затраты на ремонт, C_M – затраты на техническое обслуживание, L_P – производственные потери. Тогда целевую функцию можно записать в виде:

$$\begin{cases} f(C_R, C_M) \rightarrow \min, \\ f(L_P) \rightarrow \min, \\ OEE \rightarrow \max, \\ ROI \rightarrow \max. \end{cases}$$

При использовании системного подхода к задаче увеличения эффективности ТОиР необходимо организовать непрерывный процесс оценки эффективности процесса ТОиР и адаптивное внесение изменений в процесс ТОиР для получения оптимального значения эффективности функционирования ремонтной службы и КПЭО. Описана задача контроля и управления системой ТОиР с помощью системы управления целенаправленным улучшением эксплуатации оборудования. Для целенаправленного улучшения системы ТОиР ПрО предприятия рекомендовано управление эффективностью работ по ТОиР с помощью системы сбалансированных ключевых показателей эффективности (КПЭ).

Для повышения эффективности ТОиР разработан метод непрерывного улучшения процесса ТОиР ПрО, отличающийся имплементацией систем сбалансированных показателей и ключевых показателей эффективности (рис.7). Основные этапы метода:

1. Формирование системы показателей ТОиР:

- Формализация целей, разработка стратегии применения системы КПЭ ТОиР и принятие решения по применению КПЭ для списка субъектов и оборудования.



Рисунок 7 – Схема организации системы ТОиР на основе КПЭ.

В случае наличия комплекса КПЭ надсистемы (предприятия) необходимо организовать стыковку с ними.

- Разработка системы сбалансированных показателей КПЭ (состав показателей, методы расчета, допустимые интервалы, целевые уровни значений показателей и способы их интерпретации, периодов оценивания) и выделение подмножества показателей, на которых следует сконцентрироваться в первую очередь.
- Декомпозиция системы КПЭ до единиц оргструктуры и оборудования.

2. Применение и модернизация КПЭ:

- Непосредственная работа оборудования и проведение работ по ТОиР.
- Периодический сбор исходных данных и вычисление значений КПЭ.
- Постоянный контроль отклонений КПЭ.
- Целенаправленное улучшение КПЭ. Модернизация состава, способов расчета, интервалов допустимых значений и целевых уровней значений показателей.
- Улучшение системы ТОиР оборудования.

Выделены базовые характеристики КПЭ: $KPI_i = \{O, K, E, B, G, V, I, T, C\}$, где $O = \{\text{объект ТОиР, субъект ТОиР и процесс ТОиР}\}$, K – тип показателя (качественный, количественный), E – единицы измерения (часы, шт., баллы, валюты, проценты и т.д.), B – тренд (максимизация, минимизация, постоянство), G – граничные значения, V – способ вычисления, I – способ интерпретации значений, T – периоды вычисления, C – связи с целями. Выделены более 100 КПЭ ТОиР промышленного оборудования. Показатели верхнего уровня с целевым поведением:

1. Улучшение КПЭ работы ремонтных служб:
 - 1.1. снижение количества аварий, времени устранения их последствий;
 - 1.2. повышение производительности труда ремонтных служб;
 - 1.3. увеличение степени оперативности выполнения восстановительных ремонтов;
 - 1.4. сокращение незапланированных простоев;
 - 1.5. увеличение качества планирования работ на разных уровнях принятия решений;
 - 1.6. увеличение качества организации ремонтов;
2. Улучшение КПЭ работы вспомогательных служб:
 - 2.1. Повышение эффективности управления запасами;
 - 2.2. Повышение эффективности снабжения;
3. Улучшение КПЭ экономических показателей:
 - 3.1. увеличение КПЭ использования оборудования;
 - 3.2. КПЭ бюджетирования и затрат;
4. Повышение степени информированности для принятия решений:
 - 4.1. увеличение контролируемости затрат на ТОиР;
 - 4.2. увеличение наполненности базы знаний об оборудовании;
 - 4.3. увеличение степени полноты истории оборудования в базе;
 - 4.4. увеличение обоснованности оценок стоимости ремонтных работ;
 - 4.5. увеличение информированности о состоянии поставок МТР.

Для расчета значений КПЭ требуются данные о происходящих событиях, связанных с характеристиками процесса ТОиР и состояния оборудования. Необходимо организовать мониторинг и сбор информации на каждом этапе проведения работ по ТОиР.

Для обработки и систематизации полученных данных целесообразно использовать ряд методик, входящих в состав задач общего подхода к обработке данных класса DataMining, таких как обнаружение аномальных данных,

использование ассоциативных правил, анализ последовательностей, классификация, кластерный анализ, факторный анализ, регрессионный анализ, анализ структурных данных, деревья решений.

Одной из главных задач данного исследования является поддержка принятия решения о выборе стратегий ТОиР оборудования. Потребность в этом возникает в ситуациях постановки на позицию нового оборудования, ключевых изменениях состояния оборудования, его модернизации.

Формальная постановка задачи выбора стратегии ТОиР. Пусть в дискретные моменты времени наблюдается векторный случайный процесс $Z(t) = \overline{X(t)} + \overline{N(t)}$ с известными статистическими характеристиками составляющих $\overline{X(t)}$ и $\overline{N(t)}$, где $\overline{X(t)}$ – вектор состояния (характеризуемый, например, набором выходных контролируемых параметров) оборудования; $\overline{N(t)}$ – аддитивный вектор ошибок измерений. Обозначим через $\overline{R(t)}$ векторную неслучайную функцию, имеющую ту же размерность, что и $\overline{Z(t)}$, и являющуюся дискретно наблюдаемыми реализациями (траекториями) вектора $\overline{Z(t)}$. На наблюдаемых траекториях случайного процесса $\overline{Z(t)}$ зададим некоторый функционал потерь $\Phi\{R(t)\}$, которые определяются как потери на управление процессом $\overline{Z(t)}$ для удержания его в заданной области $D(t)$. Физически функционал $\Phi\{R(t)\}$ означает потери времени или стоимости на техническое обслуживание сложной системы в процессе ее эксплуатации, а область $D(t)$ – эксплуатационные допуски на все контролируемые параметры системы (как правило, $D(t) = D$). Обозначим, далее через $\delta_{ii}(Z_{ii})$, $i = 0, 1, 2, \dots$ решение на управление процессом $Z(t_i)$ в момент t_i . Назовем набор решений $\delta_T(Z_T) = \{\delta_1(Z_1), \delta_2(Z_2), \dots, \delta_k(Z_k = Z_T)\}$ стратегией управления обслуживанием в периоде $(0, T)$, где T – период эксплуатации сложной системы. Физически стратегия $\delta_T(Z_T)$ означает все воздействия, которым подвергается сложная система в процессе эксплуатации со стороны обслуживающего персонала (регулировка, замена блоков системы и т. п.). Задача состоит в выборе стратегии ТОиР ПрО $\delta_T(Z_T) = \delta^*_T(Z_T)$, минимизирующей математическое ожидание функционала потерь на периоде эксплуатации $(0, T)$, т.е. обеспечивающей $\min_{\delta^*_T} M[\Phi\{R(t)\}]$.

На основании исследования и формальной постановки задачи ППрР были выделены ключевые этапы метода ППрР при выборе стратегии ТОиР ПрО, которую необходимо применить к конкретному оборудованию:

1. Использование регламентов (отраслевых, СТП, международных методологий, например, RCM).
2. Когнитивное моделирование факторов ТОиР.
3. Выбор стратегии организации ТОиР:
 - 3.1. Реактивный ремонт
 - 3.2. Плановое обслуживание
 - 3.3. Проактивное обслуживание:
 - 3.3.1. обслуживание по состоянию на основе мониторинга/диагностики
 - 3.3.2. предупредительное обслуживание на основе прогнозных данных
4. Анализ выбранной стратегии:
 - 4.1. Определение ремонтных воздействий с учетом рисков.
 - 4.2. Минимизация затрат на организацию обслуживания ПрО при выполнении производственной программы.
5. Реализация выбранной стратегии.

На начальных этапах интеллектуальной поддержки ТОиР ПрО с помощью когнитивного моделирования (рис.8) можно проиграть различные сценарии изменения системы организации ТОиР на предприятии при изменении отдельных

факторов. Когнитивное моделирование используется для: первичного получения модели и при изменении отдельных факторов; исследования различных сценариев изменения системы организации ТОиР; оценки ситуации и анализа взаимовлияния действующих факторов. Исследуются различные сценарии изменения системы организации ТОиР.

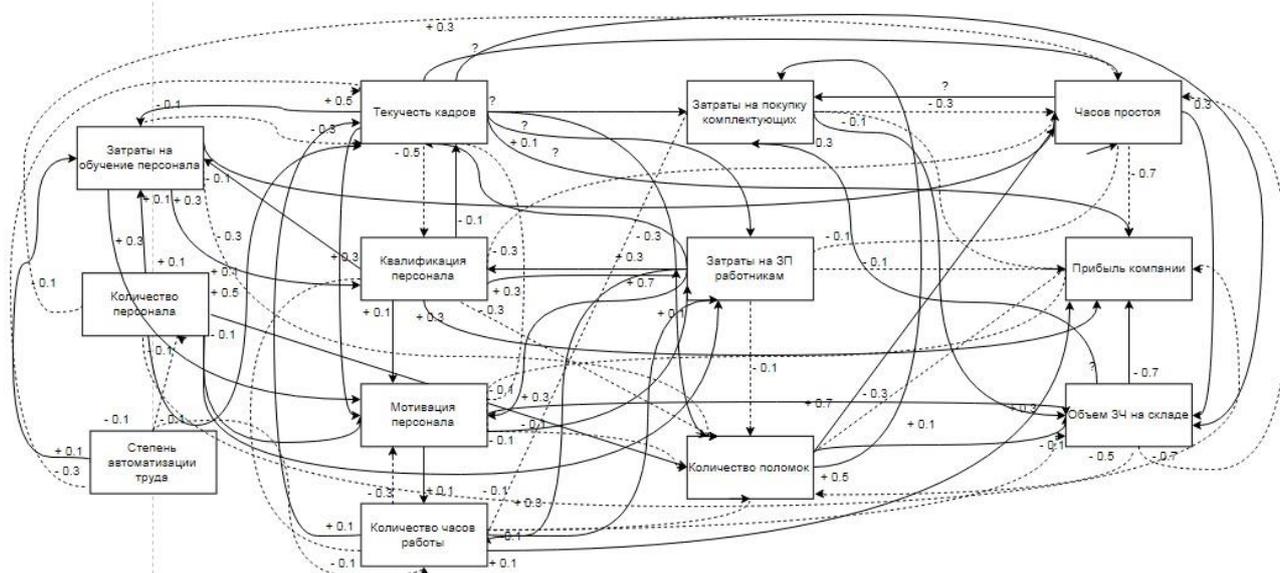


Рисунок 8 – Когнитивная модель ТОиР ПрО (фрагмент).

Основная идея алгоритма определения ремонтных воздействий с учетом рисков заключается в упорядочивании оборудования по рискам:

1) по критичности отказов:

1. Опасно для жизни неопределенного числа людей.
2. Опасно для жизни персонала.
3. Ущерб, выраженный в денежном эквиваленте.

2) при одинаковой критичности отказов – по наработке на отказ $MTBF$ для восстанавливаемого ПрО или параметру потока отказов $\omega(t)$ для невосстанавливаемого:

1. Выстраивание по параметру.
2. Парное сравнение (срок $< TO_i$).

Алгоритм выбора стратегии ТОиР состоит из следующих шагов:

1. Выбирается оцениваемая стратегия S_i .
2. Выбираются оцениваемые реализации данной стратегии $\{R'\} \subset \{RS_i\}$. Количество выбранных реализаций n .
3. Выбирается множество оценочных характеристик (оценочных критериев) $\{C'R'\} \subset \{CR'\}$. Количество выбранных характеристик m .

Строится матрица $[m][n]$, строками которой являются элементы множества характеристик, на основе которых происходит оценка реализаций $\{C'R'\}$, столбцами оцениваемые реализации $\{R'\}$. На пересечении строки и столбца – значение конкретного критерия для конкретной реализации, оцененное по 10-ти балльной шкале полезности.

4. На основании полученной матрицы применяется один из методов упорядочивания альтернатив $D = d_i (i=1..8)$.

Выходные данные каждого из методов – упорядоченный список реализаций. В соответствии с полученным результатом каждой оцениваемой реализации присваивается новая характеристика. Если у реализации $R_j, j=1...n, NC$ – количество характеристик, то $C_{NC+1} = \{C_{NC+1n}, C_{NC+1A}, C_{NC+1P}, Q_{C_{NC+1}}\}$, C_{NC+1n} – "Критерий

оптимальности", $C_{NC+1}A - \{a_1, a_2, a_3\}$, где a_1 – метод, которым был получен результат; a_2 – значение критерия оптимальности; a_3 – порядковый номер реализации в рамках упорядоченного по важности множества; $C_{NC+1}P - \{p_1, p_2, p_3\}$ значения a_1, a_2, a_3 соответственно; QC_{NC+1} – равенство.

Описаны алгоритм прогнозирования состояния оборудования с использованием накопленных статистических данных и алгоритм прогнозирования состояния оборудования с использованием показаний КИП, образующие метод прогнозирования состояния оборудования.

Для выбора стратегии предупредительного обслуживания на основе прогнозных данных используются конечный прогноз сроков работ ТООР оборудования и составной прогноз (прогноз значения характеристик оборудования, прогноз параметров работ по ТООР оборудования). Отмечено, что прогнозирование состояния оборудования является основой для формирования плана работ. Состояние оборудования сложного объекта $Ec = \{ECond, EStruct\}$, $EStruct$ – структура сложного оборудования. $ECond = \{N, DL, S\}$, где N – текущая наработка оборудования или любой другой показатель, характеризующий выработку ресурса оборудования, DL – наиболее подходящий закон распределения, характеризующий изменение вероятности отказа оборудования, S – статистика отказов и выходов оборудования из строя. Рассмотрены основные законы распределения и методы расчёта статистических параметров оборудования.

При определении состояния по мониторингу используются показания контрольно-измерительного прибора (КИП). При этом $ECond = \{X, Y, VCond\}$, где X – определение состояния оборудования относительно фиксированного значения КИП; Y – определение состояния оборудования относительно значения показания КИП, подчиняющегося заданному закону изменения; $VCond$ – определение состояния оборудования относительно скорости изменения значений показаний КИП. $X = \{X_0, \Delta X, Cond\}$, где X_0 – фиксированное значение показания КИП; ΔX – смещение значения показания КИП относительно фиксированного значения; $Cond$ – состояние оборудования. $Y = \{Y_t, \Delta Y, Cond\}$, где Y_t – закон изменения значений показания КИП; ΔY – смещение значения показания КИП относительно значения подчиняющегося закону Y_t . $VCond = \{Ycn, Ycr\}$, где Ycn – закон нормального изменения показаний контрольно КИП; Ycr – график реального изменения показаний мониторинга по времени.

Для реализации стратегии (5й ключевой этап метода ППрР при выборе стратегии ТООР ПрО) составляется план работ. Модель планирования работ по ТООР ПрО описана как предварительный план $PP = \{WP, Date\}$, где WP – список работ, которые необходимо провести, $Date$ – период проведения работ. $WP = \{W_i | i = 1, \dots, N_w\}$, W_i – работа, которую необходимо выполнить, $W_i = \{D_i, WDate_i, WPer_i, Ex_i | i = 1, \dots, N_w\}$, D_i – дерево действий, которые необходимо провести для выполнения работы W_i , $WDate_i$ – дата начала проведения работы, $WPer_i$ – продолжительность проведения работы, Ex_i – оценка эксперта о необходимости проведения работы, $Ex_i = (0/1)$. $D_i = \{DE_i, DO_i\}$, $DE_i = \{DE_{ij} | j = 1, \dots, N_D\}$, где DE_{ij} – действие, DO_i – связь между действиями. $DE_{ij} = \{E_{ij}, U_{ij}, DDate_i, DPer_i | j = 1, \dots, N_D\}$, E_{ij} – список материальных ресурсов, необходимых для выполнения действия, U_{ij} – список человеческих ресурсов, необходимых для проведения действия, $DDate_i$ – период проведения действия, $DPer_i$ – продолжительность проведения действия. Итоговый план P имеет такую же структуру и включает те работы, где $EX_i = 1$.

Сформирована методика расчёта затрат на ремонт и техническое обслуживание оборудования с учетом коэффициентов ремонтной сложности оборудования, а также определения затрат на ремонт силами сторонних

организаций на договорной основе и собственными силами предприятия.

В рамках реализации 4го этапа концепции рассмотрена задача модернизации оборудования, которая имеет высокую важность при организации ТОиР ПрО. Алгоритм метода ППрР о модернизации имеющегося оборудования с учётом новых условий производства:

1. Сбор исторической информации по объекту.
2. Оценка показателей надежности: интенсивности отказов λ , средней наработки на отказ МТBF (или параметра потока отказов $\omega(t)$), и др.
3. Принятие решения об изменении конструкции обслуживаемого объекта:
 - Оценка степени возврата инвестиций ($ROI \rightarrow max$) и истории воздействий.
 - Анализ причин и критичности отказов.
4. Формирование ТЗ на модернизацию и внесение изменений в конструкцию.

Сформулированы выводы о необходимости организации непрерывного процесса оценки эффективности ТОиР и адаптивного внесения изменений в процесс ТОиР для повышения эффективности функционирования ремонтной службы.

Глава 4 посвящена моделям и методам интеллектуальной поддержки организации ТОиР. Рассмотрено применение онтологий для аккумуляции, использования и управления знаниями по ТОиР, использование агентных технологий и мультиагентных систем для решения задач организации программно-информационной поддержки ТОиР. Для единообразного представления различных объектов ТОиР на всех этапах ЖЦ предложено использовать единые модели представления знаний, обеспечивающие таким образом логистическую поддержку не только эксплуатации, но и на начальных и прочих стадиях ЖЦ, вплоть до утилизации.

Исследованы различные параметрические модели представления информации о ТС, структурно-параметрические и параметрические функциональные модели. В качестве представления информации о ПрО выбраны структурно-функциональная параметрическая модель (ПарФС, рис.9) и онтологии.

Информационная модель знаний об объекте ТОиР, реализующая механизм интеграции разнородной информации о ПрО на основе исследования структуры объекта, его параметров и характеристик, а также реализуемых данным объектом технических функций, является моделью инвариантного представления информации об объектах проектирования, охватывающей описание объекта на протяжении всего жизненного цикла и позволяющей разным субъектам выполнять выявленные функции с использованием единых принципов описания объекта проектирования («параметрическая функциональная структура» (ПарФС)). Модель характеризуется интеграцией описания структур классов объектов и реализаций объектов класса, позволяет описывать проектируемый объект на различных уровнях описания (принцип действия, функциональная структура, техническое решение и др.). Используемые в модели в качестве основы для описания параметров и отношений языки задания характеристик, являющиеся способом формализованного описания компонент объектов и их связей, обеспечивают однородность представления информации, широкие возможности по модификации структуры и параметров, что позволяет использовать единое описание объекта для решения различных проектных задач.

С помощью ПарФС описаны модели процесса ТОиР; календарного плана работ; организационно-распорядительного документа; технического документа; различных технических систем; помеченного графа и графа целей; описания потребности, физической операции, технической функции, функциональных

структур и физического принципа действия на основе формализованных функциональных характеристик, в т.ч. характеристик «Действие», «Условия действия», «Поведение действия» и «Объект действия». Выполнены примеры описаний таких объектов.

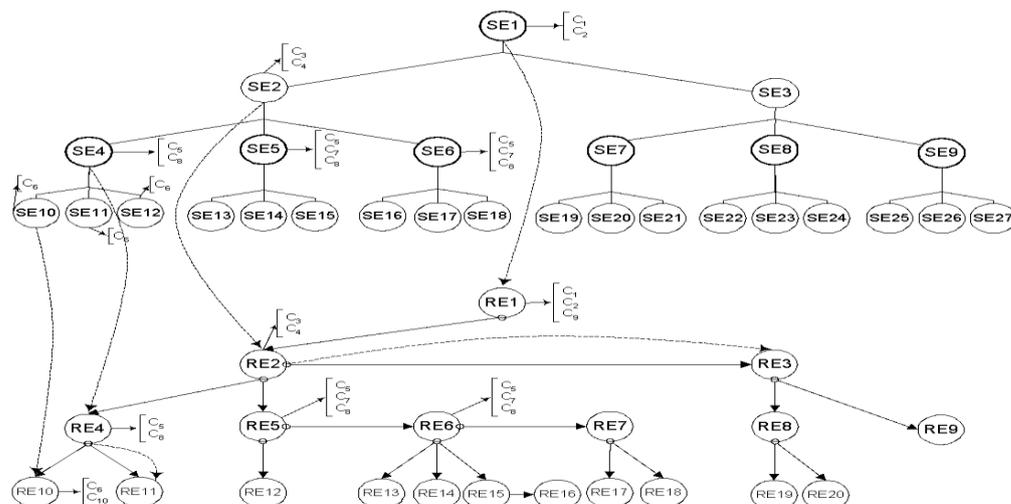


Рисунок 9 – Графическая схема модели представления знаний о ПрО с помощью ПарФС.

Формализованы компоненты модели и ограничения, накладываемые на них. В предложенной модели представления проектных данных объект фактически декомпозируется по трем уровням описания: 1) системы, описывающие устройство класса технических объектов (И-ИЛИ-граф конструктивной структуры); 2) сетевые структуры, описывающие работу отдельных систем на различных уровнях описания (концептуальная схема, принципиальная схема, конструктивная реализация, конструктивно-функциональная схема, потоковая функциональная структура, физический принцип действия); 3) сетевые структуры, описывающие реализацию конкретного объекта (в т.ч. и в отдельные промежутки времени). Для улучшения применимости классического аппарата И-ИЛИ-графов, структура систем в предложенной модели описывается модифицированным И-ИЛИ-графом, что устраняет ряд выявленных недостатков.

ПарФС множества технических объектов (ТО) – промышленного оборудования – определена как $TO = \{O_H, S, R, CS, CR, Q\}, X, Y\}$, где O_H – наименование множества объектов, S – конструктивная структура множества ТО, R – реализации конструктивной структуры S множества ТО, CS – множество характеристик конструктивной структуры S , CR – множество характеристик реализаций R , Q – множество отношений S и R , X – множество входных воздействий на ТО, Y – множество выходных реакций ТО. Каждая система, описанная S_i , соотносится с множеством реализаций R_i .

Для формализации знаний о ТО введено понятие «характеристики». Внесение понятия «характеристика» в модель позволяет отделить знания об организации структуры от прочих знаний об ОП. Характеристика C_i является фреймом $C_i = \{C_H, CA, CP, QC\}$ где C_H – наименование, $CA = \{a_1, a_2, \dots, a_{NC}\}$ – набор атрибутов, $CP = \{p_1, p_2, \dots, p_{NC}\}$ – набор значений, QC – отношения между CA и CP , NC – количество характеристик. Характеристика в общем случае описывает определенный признак системы или реализации. Множество характеристик ТО задается как $C = \{CS, CR, CQ, G, I, L, T\}$, где CS и CR – набор характеристик конструктивной структуры объекта и ее реализаций соответственно, CQ – отношение между характеристиками структуры и реализации, G – иерархическое множество групп характеристик, I – иерархическое множество источников

характеристик, L – множество языков задания характеристик (ЯЗХ), T – множество интерпретаторов ЯЗХ. Множества входных и выходных характеристик ТО являются подмножествами C ($X \in C, Y \in C$). Отношения «часть-целое» задаются с помощью дерева структуры ТО и сетевых структур реализаций. Характеристики привязываются к вершинам и/или-графа структуры класса ТО и вершинам сети реализаций ТО для моделирования прочих отношений.

Знания о ТО и его поведении – структурные, параметрические, временные, пространственные и прочие отношения подсистем объекта задаются на языках описания данных «язык задания характеристик», адаптированных к особенностям соответствующих характеристик. В качестве значений характеристик могут фигурировать численные, строковые, лингвистические значения, интервалы, порядки, математические, причинно-следственные, временные, пространственные и прочие выражения, а также их наборы вплоть до программ расчета на соответствующем характеристике ЯЗХ. ЯЗХ описывает тип, возможные значения характеристики, ее поведение, правила задания и вычисления. Характеристики одного типа обрабатываются одинаковым способом с помощью интерпретатора определенного ЯЗХ. При описании ТО и его п/с на системном уровне необходимо задать в качестве характеристик выражения на соответствующем ЯЗХ, описывающем правила получения значений характеристик в реализациях ТО. Таким образом, каждая характеристика системы или реализации позиционирована в группе характеристик, дереве источников характеристик и записывается с помощью определенного ЯЗХ.

Описана модель изменения описания ПрО в процессе его ЖЦ. Множество состояний описания ПрО включает определенный набор значений признаков реализации R_i^τ в момент времени τ . Отдельные элементы или вся система за рассматриваемое время $t_0, \dots, t_k, 0 \leq \tau \leq k$ определенное число раз переходит из одного состояния в другое. Отдельный переход составляет элементарную операцию $On_i = R_i^\tau \succ R_i^{\tau+1}$, где R_i^τ – реализация системы в момент времени τ , " \succ " – знак отношения порядка. Операция перехода состояний определена, если для нее указаны начальное состояние R_i^0 , конечное состояние R_i^k и порядок смены состояний системы. На протяжении исполнения проекта во времени описание объекта трансформируется. Модель изменения по уровням описания объекта в проекте по выгидит следующим образом:

$$\text{Оп}^{\text{ПФ}} \quad \text{Оп}^{\text{ТС}} \quad \text{Оп}^{\text{СПД}} \quad \text{Оп}^{\text{ПДР}}$$

$\text{ПТО} = \text{ТО}^{\text{П}} \Rightarrow \text{ТО}^{\text{ТФ}} \Rightarrow \text{ТО}^{\text{ФС}} \Rightarrow \text{ТО}^{\text{ФПД}} \Rightarrow \text{ТО}^{\text{ТР}}$, где $\text{ТО}^{\text{П}}$ – описание на уровне потребности, $\text{ТО}^{\text{ТФ}}$ – описание реализуемой технической функции, $\text{ТО}^{\text{ФС}}$ – описание функциональной структуры, $\text{ТО}^{\text{ФПД}}$ – описание физического принципа действия объекта, $\text{ТО}^{\text{ТР}}$ – описание технического решения на уровне реализации, $\text{Оп}^{\text{ПФ}}$ - операция смены состояний с $\text{ТО}^{\text{П}}$ на $\text{ТО}^{\text{ТФ}}$, $\text{Оп}^{\text{ТС}}$ - операция смены состояний с $\text{ТО}^{\text{ТФ}}$ на $\text{ТО}^{\text{ФС}}$, $\text{Оп}^{\text{СПД}}$ - операция смены состояний с $\text{ТО}^{\text{ФС}}$ на $\text{ТО}^{\text{ФПД}}$, $\text{Оп}^{\text{ПДР}}$ - операция смены состояний с $\text{ТО}^{\text{ФПД}}$ на $\text{ТО}^{\text{ТР}}$. Для дискретного изменения по уровням описания ТС описания конкретной реализации модель изменения описания выгидит как: $R_i = R_i^{\text{П}} \Rightarrow R_i^{\text{ТФ}} \Rightarrow R_i^{\text{ФС}} \Rightarrow R_i^{\text{ФПД}} \Rightarrow R_i^{\text{ТР}}$, где R_i^τ – реализация системы в момент времени τ , соответствующий определенному описанию ТО.

Для реализации проектных процедур в работе определены формализованные описания характеристик из различных групп: входных, выходных, структурных, параметрических, функциональных и прочих характеристик, описание потребности, эвристического приема, функциональных структур, физических

операций, физических принципов действия на основе состава характеристик «Действие», «Объект действия», «Поведение действия» и «Условие действия», заданных грамматикой ЯЗХ функциональных характеристик.

Для изменения конструкции обслуживаемого объекта применяется метод синтеза новой ТС с использованием ПарФС.

1. Подготовка исходных данных.

1.1. Выбор объекта проектирования.

1.2. Конструктивно-функциональная декомпозиция объекта на элементы нижестоящего уровня.

1.3. Определение конструктивной структуры объекта и набора ее реализаций.

Результатом этапа является параметрическая функциональная структура (ПарФС), представляющая собой модель, построенную на основе общей теории систем и являющаяся дальнейшим развитием метода проектирования на И-ИЛИ деревьях. И-ИЛИ дерево в данной модели описывает общую структуру системы и состав входящих в нее подсистем.

2. Определение параметров подсистем, расчётных формул и порядка расчётов.

2.1. Характеристиками ИЛИ-вершины дерева систем являются списки входных и выходных параметров данной системы. Привязка к элементам И-ИЛИ дерева характеристик и их значений. Каждая дочерняя И-вершина содержит списки возможных интервалов для входных и выходных значений при данной структуре системы.

2.2. Для задания правил проектирования используется понятие параметрической связи. Связь по параметру Q от подсистемы A (источник) к подсистеме B (приемник) означает, что параметр Q , вычисляемый при проектировании подсистемы A , используется для определения характеристик подсистемы B . Связь может содержать формулы вычисления параметра по параметрам нескольких источников. Для системы верхнего уровня входными параметрами могут быть требования пользователя. И-вершина, не являющаяся листом, задает структуру системы, поэтому ее характеристики содержат список точек входа, внутренних связей и точек выхода. Характеристики И-вершины, листа описывают математическую модель соответствующей системы – они описывают формулы расчета внутренних и выходных параметров по входным. Если значения параметров заданы дискретно, то они задаются в характеристиках реализаций данной системы. Характеристики реализаций системы более высокого уровня содержат значения, вычисляемые по формулам для ее подсистем. Результатом этапа является математическая модель, построенная на основе структуры объекта.

3. Расчет.

3.1. Выполнение расчётов по заданным параметрам и структуре математической модели, поиск набора реализаций подсистем по результатам расчёта.

Результат – набор реализаций со значениями характеристик, удовлетворяющих заданным параметрам системы.

Алгоритм синтеза новой ТС с использованием ПарФС:

- 1) Формируется одно из допустимых деревьев вершин;
- 2) Определяются характеристики вершин. По полученным характеристикам оценивается, является решение допустимым или нет.
- 3) Определяется порядок обхода вершин (расчета переменных).
- 4) Формируется набор реализаций для данного набора вершин.
- 5) Определяются характеристики реализаций и значения переменных для вершин. Определяется, является решение допустимым или нет.
- 6) Расчет вершин и проверка на допустимость полученных решений.

7) Если решение допустимо формируется подграф реализаций.

Алгоритм синтеза И-ИЛИ-дерева структуры ТС:

- 1) выбор множества ТР некоторой ТС в определенной предметной области;
 - 2) декомпозиция выбранных ТР и построение И-деревьев:
 - 2.1) корневая дуга И-дерева помечается названием описываемой ТС;
 - 2.2) выделяются подсистемы, образующие ТС, названиями помечаются дуги следующего уровня, связующие дугой предыдущего уровня с вершиной И;
 - 2.3) аналогично выделяются свойства ТС (материал, геометрическая и т.п.);
 - 2.4) действия из пунктов 2.2 и 2.3 проводятся для всех вновь выделенных вершин до тех пор, пока не будет достигнут нужный уровень декомпозиции;
- Пункты 2.1 – 2.4 выполняются для каждой из выбранных ТС, в результате получается множество И-деревьев;
- 3) объединение полученных И-деревьев в И-ИЛИ-дерево объединением общих дуг в одну и соединение их дочерних поддуг узлом ИЛИ;
 - 4) заполнение таблиц совместимости для каждой пары ИЛИ-вершин.

Алгоритм синтеза ТР на И-ИЛИ-дереве состоит из двух этапов:

- 1) усечение И-ИЛИ-дерева за счет исключения из него альтернатив, заранее не удовлетворяющих требованиям пользователя;
- 2) синтез множества ТР на усеченном И-ИЛИ-дереве методом рекурсивного перебора всех его дуг с учетом таблиц совместимости.

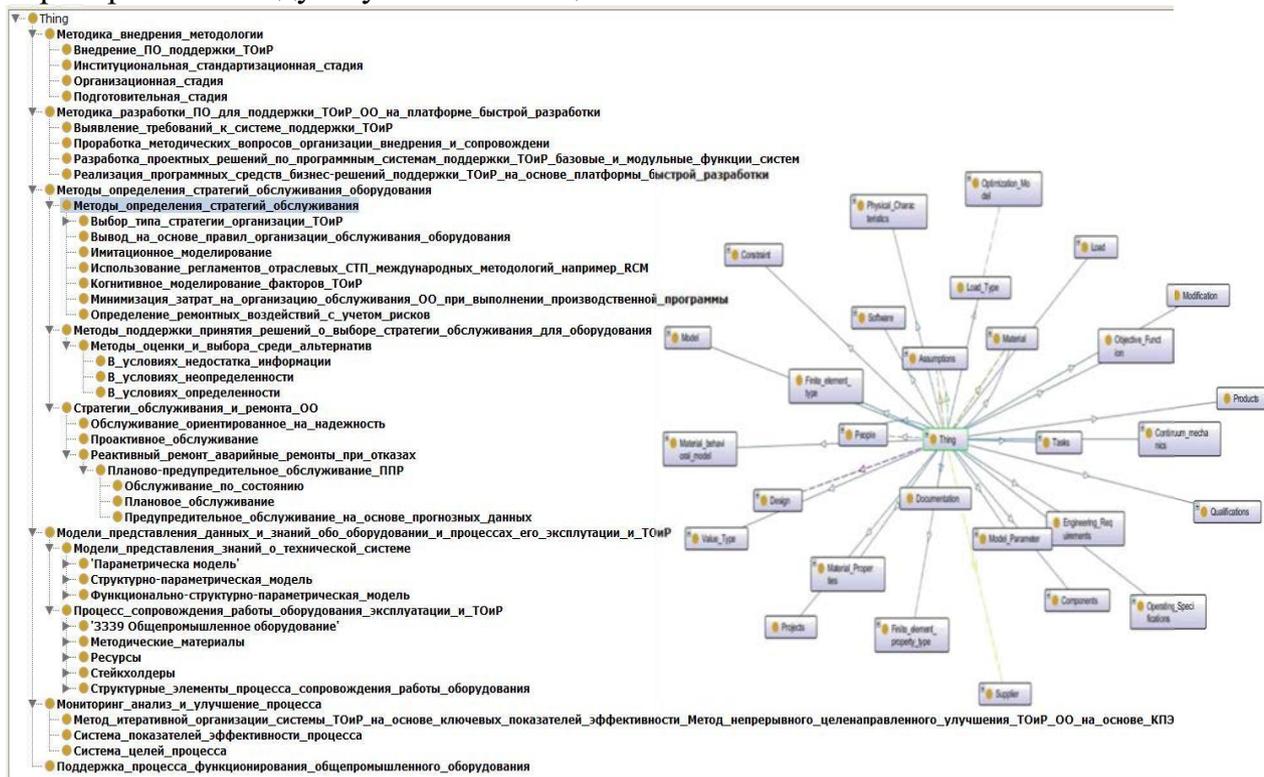


Рисунок 10 – Структура и классы метаонтологии ТООР пром.оборудования (фрагмент).

Для реализации интеллектуального ядра программно-информационной поддержки предложены онтологические модели данных и знаний о процессе ТООР промышленного оборудования на различных уровнях описания и этапах жизненного цикла. Разработана метаонтологическая модель ТООР ПрО (Рис.10), содержащая следующие онтологии: классификация оборудования, организационная структура предприятия, производственная структура оборудования, типизация (классификация видов) ТООР, структура процесса ТООР, задачи этапов ТООР, стратегии обслуживания и ремонта, информация о ремонтных воздействиях на ПрО, штатная структура организации, информация о

контрагентах, документация по ТОиР, технологические ресурсы и взаимодействие между ними, показатели эффективности ТОиР ПрО, словари, справочники и классификаторы. Проведено наполнение классов онтологий ТОиР ПрО.

Для решения задач организации взаимодействия, упрощения процесса управления объектами схожей структуры используются агенты, объединяемые в мультиагентную систему (МАС, рис.11). Агенты обладают характеристиками, которые делают их незаменимыми в задачах ТОиР. Способность правильно реагировать на динамически изменяющиеся условия делает многоагентные системы гибкими для их использования при обслуживании ПрО.

Распределение задач предполагает назначение ролей каждому из членов группы, определение меры его ответственности и требований к опыту.

Для реализации МАС построена модель интеллектуальных агентов для задач поддержки ТОиР: $Agent = \{ID, O, Freq, ORG^A\}$. Организационная структура агента формально описывается в виде: $ORG^A = \langle S^A, R^A, CP^A, ACT^A, Rem^A, STR^A, ST, SL, T \rangle$, где S^A – множество целей агента, CP^A – множество навыков и способностей, ACT^A – множество действий, Rem^A – память агента, сохраняющая его действия, R^A – множество ролей агента, STR^A – множество стратегий поведения, ST – множество состояний агента, SL – множество ограничений функционирования.

Ограничение $sl_i \in SL$ представляется через действие и ограничение агента:

$sl_i = \langle act_i, r_i \rangle$, где $act_i \in ACT$, $r_i \in R^A$; обобщенная функция переходов T :

$ST \times ACT \times SL \rightarrow 2^{st}$, удовлетворяет следующим условиям:

а) для любых $st \in ST$, $act \in ACT$, $sl \in SL$, если состояние st удовлетворяет ограничению φ , $st \models \varphi$, и пара $\langle act, \varphi \rangle \in sl$, то $T \langle st, act, sl \rangle \rightarrow \varphi$;

б) для любых $st \in ST$, $act \in ACT$, $sl1, sl2 \in SL$, если $sl1 > sl2$, то $T \langle st, act, sl1 \rangle \subseteq T \langle st, act, sl2 \rangle$.



Рисунок 11 – Архитектура многоагентной системы поддержки ТОиР.

Распределенное решение задач несколькими агентами разбивается на следующие этапы: 1) агент-менеджер проводит анализ текущей ситуации, выявляет типовые задачи, а также определяет приоритет их решения; 2) задачи распределяются между агентами-исполнителями; 3) каждый агент-исполнитель решает свою задачу, при необходимости разделяя ее на подзадачи; 4) для получения общего результата производится композиция, интеграция частных результатов, соответствующих выделенным задачам; 5) агент-менеджер-машин производит контроль решения задач и необходимую фиксацию результатов. Для

данной задачи выбрана InteRRaP-архитектура МАС. В этой архитектуре подсистема контроля агента многоуровневая, и каждый вышележащий уровень работает с более абстрагированной (и агрегированной) информацией.

Сформулированы выводы о том, что разработанная интегрированная модель представления информации об объектах ПарФС охватывает их описание на протяжении всего жизненного цикла и позволяет выполнять проектные процедуры с использованием единых принципов. Онтологические модели данных и знаний о процессе ТОиР ПрО и многоагентная система поддержки реализуют интеллектуальную программно-информационную поддержку процесса ТОиР ПрО.

Глава 5 посвящена проектированию программно-информационных систем для автоматизированной поддержки работ по ТОиР ПрО, экспериментальной апробации и внедрению научных результатов для повышения эффективности ТОиР ПрО. Сформулирована технология разработки ПО в области автоматизации ТОиР. Разработан комплекс инженерных методик, впервые обобщающий подходы к разработке ПО автоматизации ТОиР и технологические процессы внедрения.

Разработана методика разработки ПО поддержки ТОиР промышленного оборудования на основе платформы быстрого прототипирования, состоящая из следующих шагов:

1. Выявление требований к системе поддержки ТОиР.
 - 1.1. Исследование системы ТОиР в организации.
 - 1.2. Сбор требований заказчика.
 - 1.3. Формирование технического задания на программную систему.
2. Разработка проектных решений по программным системам поддержки ТОиР (базовые и модульные функции систем).
 - 2.1. Разработка макета системы в платформе быстрого прототипирования.
 - 2.2. Проектирование справочников и форм.
3. Реализация программных средств (бизнес-решений) поддержки ТОиР на основе платформы быстрой разработки.
4. Проработка методических вопросов организации внедрения и сопровождения.



Рисунок 12 – Архитектура платформы быстрой разработки программных систем поддержки ТОиР оборудования.

Сформулированы требования, архитектура программной системы, ее функциональность, принципы построения архитектуры системы АСТОР. Описано разработанное информационное и программное обеспечение системы. Состав модулей системы: ведения баз системы; планирования системы; учета проведенных работ; работы с КПЭ ТОиР ПрО. Сформулированы принципы построения архитектуры системы АСТОР, набор функций программно-

информационной поддержки, разработана архитектура платформы быстрой разработки ПО поддержки функционирования оборудования. Проработана внутренняя архитектура системы и взаимодействия её основных модулей (рис. 12).

Описано использование полученных результатов и программных систем поддержки работ по ТОиР. Разработана методика внедрения программно-информационной поддержки ТОиР промышленного оборудования:

1. Подготовительная стадия:

- обоснование внедрения, постановка четких целей, первичное обучение;
- корректировка или формирование организационной структуры ТОиР;
- формирование плана внедрения СТОиР.

2. Организационная стадия:

- организация циркуляции информации по отказам оборудования;
- рационализация планирования мероприятий ремонтов и обслуживания оборудования и анализа их проведения;
- установление системы улучшений КПЭ с участием каждого работника, задействованного в обслуживании и/или эксплуатации оборудования.

2. Институциональная (стандартизационная) стадия:

- стандартизация и регламентация всех этапов обслуживания оборудования;
- формирование формального описания процесса и процедур (этапы ТО, чек-листы графиков обслуживания оборудования);
- обучение разработанным стандартам и их корректировка;
- мониторинг, анализ и улучшение процесса выполнения стандартов, процедур.

3. Внедрение ПО поддержки ТОиР.

Разработаны и реализованы следующие программные средства на платформе: Система поддержки составления планов работ, Система автоматизации планирования на основе планово-предупредительных работ, Система учета проведенных работ, Система поддержки разработки и внедрения/сопровождения.

Проведена оценка эффективности применения систем. В Таблице 2 показаны оценки эффективности на основании расчетов и полученных актов внедрения. Рассчитано, что полезный эффект может достигать десятков миллионов рублей.

Таблица 2 - Достигнутое повышение эффективности

ОРГАНИЗАЦИЯ	ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ООО «Волгоградсервис»	Повышение общей эффективности организации процессов ремонта и технического обслуживания на 15-20%
ОАО «Баррикады»	Повышение эффективности и качества обслуживания оборудования, сокращение непроизводительных затрат и внеплановых простоев оборудования на 10-15% и выявление перечня оборудования, нуждающегося в замене или модернизации.
ЦКБ «Титан»	Повышение эффективности обслуживания оборудования, оптимизации его использования, получение информации по необходимости обновления парка оборудования, сокращение затрат на обслуживание и ремонты на 8-12%, минимизация простоев оборудования.
Научно-производственная компания ООО «Магни»	Повышение общей эффективности организации процессов ремонта и технического обслуживания на 17-19%

Описана апробация подхода к автоматизации на сервисном ремонтном предприятии, промышленных предприятиях, в учебных целях. Элементы

разработанной методики и программных систем были применены в форме методов, методик, технологий и программно-информационных средств организации ТОиР и его программно-информационной поддержки в организациях.

Программно-информационные системы, интеллектуальная и методическая поддержка ТОиР и функционирования оборудования:

- Программные системы АСТОР, АСТОР 2, АСТОР 3.
- Ремонтного предприятия («Волгоградсервис») – АСТОР 3.1, 2008-2019 гг.
- Программные системы для предприятий:
 - ОАО «ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка» (по заказу ООО «Лукойл-Информ») – Система автоматизации ТОиР установки №55 КБП, линий разлива масла цеха №5 и битума, 2007-2009 гг.
 - ООО «Таганай» - программная система технического обслуживания и ремонта, 2009-2010 гг.
 - ОАО «ПО «Баррикады» – Разработка программной системы автоматизации планирования ремонтных работ для отдела главного механика ОАО «ПО "Баррикады», 2011 г.
 - ООО «Магни» – апробация моделей и методов, 2014 г.
 - ЦКБ «Титан» – апробация моделей и методов, 2014 г.
- Отраслевые системы поддержки ТОиР (контрольно-кассовое торговое, антенное оборудование, оргтехника, дорожные машины, ВТ).

Сформулированы выводы об эффективности применения систем. Полученные результаты позволяют оценить повышение эффективности организации ТОиР до ~ 20%.

В **Заключении** приводятся основные результаты, полученные автором в диссертационном исследовании.

В **Приложениях** приведены документы, подтверждающие апробацию и внедрение результатов работы, схемы и алгоритмы, примеры экранов разработанных систем, формируемых ими отчетов и документов, материалы реализации библиотеки методов поддержки принятия решения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

Главным результатом работы являются научно-методологические основы интеллектуальной поддержки принятия решений, повышающие эффективность процесса технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования, что позволяет сделать вывод о достижении поставленной цели.

Основные результаты, в которых отражена научная новизна и практическая ценность диссертационной работы, заключаются в следующем:

1. Проведена систематизация этапов, задач, методов и средств поддержки ТОиР.
2. Разработана совокупность моделей и методов программно-информационной поддержки принятия управленческих решений по обеспечению работоспособности промышленного оборудования, реализующая комплексный подход к организации системы его технического обслуживания, ремонта и модернизации
3. Создана системологическая модель процесса ТОиР и частные структурно-функциональные и потоково-информационные модели процесса ТОиР.
4. Разработана информационная модель знаний об объекте ТОиР.
5. Предложена концепция программно-информационной поддержки проактивного ТОиР промышленного оборудования, реализующая подход непрерывного улучшения для процесса ТОиР, для реализации которой разработаны:

- а) метод непрерывного улучшения процесса ТОиР ПрО;

б) метод ППрР при выборе стратегии ТОиР ПрО с алгоритмами определения ремонтных воздействий;

в) метод прогнозирования состояния оборудования.

6. Разработана метаонтологическая модель ТОиР промышленного оборудования, включающая в себя классификацию промышленного оборудования, формализованные знания о процессе ТОиР и методах поддержки ТОиР на каждой стадии жизненного цикла.

7. Разработана модель интеллектуальной многоагентной системы для задач поддержки ТОиР промышленного оборудования.

8. Получены инженерные методики разработки ПО поддержки ТОиР промышленного оборудования на основе платформы быстрого прототипирования и внедрения поддержки ТОиР промышленного оборудования.

9. Разработаны архитектурные и программные решения, и проект программно-информационной платформы быстрой разработки приложений для поддержки ТОиР ПрО. Реализованы алгоритмы поддержки задач ТОиР, отраслевые программно-информационные решения по поддержке эксплуатации оборудования и программная система поддержки производственной деятельности подрядного сервисного ремонтного предприятия по организации ТОиР оборудования.

10. В результате апробации получено повышение эффективности и качества обслуживания оборудования, сокращение затрат до 15%, и повышение общей эффективности организации процессов ремонта и технического обслуживания до 20%, что подтверждается актами внедрения.

Типовые решения при дальнейшем развитии могут быть адаптированы под конкретные предприятия. В качестве перспектив исследования можно выделить развитие средств мониторинга, анализа отказов и прогнозирования, а также более широкое использование интегрированных в оборудование контрольно-диагностических средств, в том числе средств самодиагностики и принятия решения, расширение библиотеки методов ППрР и прогнозирования.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

В журналах из перечня ВАК при Минобрнауки РФ:

1. Программный комплекс поддержки модернизации технических систем / А.В. Кизим, А.В. Матохина, А.Г. Кравец, И.П. Мединцева // Моделирование, оптимизация и информационные технологии (Modeling, Optimization and Information Technology «МОИТ») – 2019. – Т. 7, № 2 (25). – С. 311-324.

2. Программно-аппаратный комплекс диагностики неисправностей чиллеров / А. В. Кизим, М. А. Чернецкий, А. В. Матохина, С. Е. Ползунов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2015. – № 14 (178). – С. 116-122.

3. Нгуен, Л. Т. Т. Построение и использование онтологии электротехнического оборудования / Ле Тхань Тунг Нгуен, А.В. Матохина, А.В. Кизим // Известия ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. - № 6 (163). - С. 180-186.

4. Использование нечётких нейронных сетей при ТОиР дорожно-строительных машин / М. В. Денисов, А. В. Кизим, С. В. Давыдова, Д. А. Давыдов, В. А. Камаев // Известия ВолгГТУ. Вып. 20: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – № 6 (133). – С. 29-34.

5. Пантелеев, В. В. Применение агентного подхода при моделировании процесса технического обслуживания и ремонта оборудования / В. В. Пантелеев, А. В. Кизим // Известия ВолгГТУ. Вып. 20: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2014. – № 25 (152). – С. 75-80.

6. Кизим, А.В. Обоснование необходимости автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А.В. Кизим // Изв. ВолгГТУ. Вып. 6: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2009. - № 6. - С. 118-121.

7. Кизим, А. В. Комплексный методологический подход к решению задач поддержки технического обслуживания и ремонта оборудования / А. В. Кизим // Известия ВолгГТУ. Вып. 18: межвуз. сб. науч. тр. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 22 (125). – С. 60-66.
8. Кизим, А. В. Организация программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта производственного оборудования с использованием онтологий и мультиагентных систем на примере дорожно-строительных машин / А. В. Кизим, М. В. Денисов // Известия ВолгГТУ. Вып. 18 : межвуз. сб. науч. тр. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 22 (125). – С. 67-72.
9. Леонтьев, В. Г. Морфологический анализ и синтез набора оборудования систем коммерческого учёта потребляемой энергии / В. Г. Леонтьев, А. В. Кизим // Известия ВолгГТУ. Вып. 16: межвуз. сб. науч. ст./ ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 8 (111). – С. 155-160.
10. Кизим, А. В. Поддержка принятия решений для проведения дорожных работ и мониторинга техники / А. В. Кизим, М. В. Денисов // Известия ВолгГТУ. Вып. 16 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 8 (111). – С. 64-67.
11. Нгуен, Т. В. Стратегии, методы поддержки и модель управления ТОиР оборудования / Т. В. Нгуен, А. В. Кизим // Известия ВолгГТУ. Вып. 18: межвуз. сб. науч. тр. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 22 (125). – С. 78-81.
12. Бахман, Е. А. Разработка единой платформы управления созданием и обслуживанием программных приложений небольшими командами разработчиков / Е. А. Бахман, А. В. Кизим // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 5 (130). – С. 249-254.
13. Кизим, А. В. Генерация интеллектуальных агентов для задач поддержки технического обслуживания и ремонта / А. В. Кизим, А. Д. Кравец, А. Г. Кравец // Известия Томского политехнического университета [Тема выпуска «Управление, вычислительная техника и информатика»]. – 2012. – Т. 321, № 5. – С. 131-134.
14. Кизим, А. В. Задачи и методы поддержки ТОиР оборудования на протяжении его жизненного цикла / А. В. Кизим // Известия ВолгГТУ. Вып. 13: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – № 4 (91). – С. 55-59.
15. Кизим, А. В. Применение методологии ТРМ для повышения эффективности предприятий и организаций / А. В. Кизим // Известия ВолгГТУ. Вып. 13: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – № 4 (91). – С. 117-122.
16. Камаев, В. А. Применение неметрических методов многокритериального планирования для поддержки принятия решений в задачах технического обслуживания и ремонта / В. А. Камаев, В. Ю. Мельник, А. В. Кизим // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7. – С. 98-106.
17. Кизим, А. В. Задачи прогнозирования и планирования для программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта оборудования / А. В. Кизим, Е. В. Чиков, В. Ю. Мельник // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 224-227.
18. Мельник, В. Ю. Поддержка принятия решения при формировании очередей работ с помощью средств автоматизации планирования технического обслуживания и ремонта оборудования / В. Ю. Мельник, А. В. Кизим, В. А. Камаев // Известия ВолгГТУ. Вып. 12: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – № 11. – С. 107-110.
19. Мельник, В. Ю. Применение неметрического метода Парето для задачи планирования технического обслуживания и ремонта / В. Ю. Мельник, В. А. Камаев, А. В. Кизим // Известия ВолгГТУ. Вып. 12: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – № 11. – С. 103-106.
20. Программно-информационная поддержка технического обслуживания и ремонта оборудования с учётом интересов субъектов процесса / А. В. Кизим, Е. В. Чиков, В. Ю. Мельник, В. А. Камаев // Информатизация и связь. – 2011. – № 3. – С. 57-59.
21. Кизим, А.В. Постановка и решение задач автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А.В. Кизим // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (Доклады ТУСУРа). – 2009. – №2 (20). – С. 131-135.

22. Кизим, А. В. Вариант формализации эвристических приемов для поискового конструирования на основе ПарФС / А. В. Кизим // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст./ ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – Вып.2, №2. – С. 101-104.
23. Кизим, А.В. Структурно-функциональная параметрическая модель объектов проектирования как инвариант / А.В. Кизим // Информационно - измерительные и управляющие системы. - 2004. - 2, №2. - С. 45-54.
24. Кизим, А. В. Разработка программно-информационного комплекса систем поддержки деятельности главного конструктора машиностроительного предприятия / А. В. Кизим, А. М. Дворянкин, В. А. Камаев // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2004. – № 4. – С. 23-34.

Статьи, индексируемые в реферативных базах Scopus и Web of Science:

25. Кизим, А.В. On Systemological Approach to Intelligent Decision-Making Support in Industrial Cyber-Physical Systems / A. V. Kizim, A. G. Kravets // Cyber-Physical Systems: Industry 4.0 Challenges – Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland AG, 2020. – P. 167-183. – (Book Ser. Studies in Systems, Decision and Control (SSDC); vol. 260).
26. Predictive Modeling as A Basis for Monitoring, Diagnosis, Forecasting and Upgrading of A Technical System / A. V. Matokhina, A. V. Kizim, V. V. Panteleev, N. A. Nikitin, S. E. Dragunov // 2017 IEEE 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). – IEEE Publishing, 2017. – P. 1-5.
27. Матохина, А.В. Technical System Modernization During the Operation Stage / A. V. Matokhina, A. V. Kizim, N. A. Nikitin // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. Second Conference, CIT&DS 2017: Proceedings; Volgograd State Technical University [et al.]. – [Germany]: Springer International Publishing AG, 2017. – P. 350-360. – (Ser. Communications in Computer and Information Science; Vol. 754)
28. Development of the Intelligent Platform of Technical Systems Modernization at Different Stages of the Life Cycle / A. V. Matokhina, A. V. Kizim, D. E. Skvaznikov, A. A. Aleshkevich, V. P. Malikov, D. A. Kravchenko // Procedia computer science. – 2017. – Vol. 121. – P. 913-919.
29. Using of multi-agent system to model a process of maintenance service and repair of equipment of a service company / V. V. Panteleev, V. A. Kamaev, A. V. Kizim, A. V. Matokhina // 2016 IEEE 10th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). – IEEE Publishing, 2016. – No. 7991718. – P. 1-3.
30. Intelligent Platform of Monitoring, Diagnosis and Modernization of Technical Systems at Various Stages of Life Cycle / A. V. Kizim, A. V. Matokhina, I. I. Vayngolts, M. V. Shcherbakov // Proceedings of the 5th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends. SMART–2016 (Moradabad, India, 25th-27th November, 2016) (IEEE Conference ID: 39669); College of Computing Sciences & Information Technology, Teerthanker Mahaveer University. – New Delhi (India), 2016. – P. 145-150.
31. Expert Diagnostic System Maintenance of Complex Equipment in the Life Cycle / A. V. Kizim, A. V. Matokhina, V. A. Kamaev, Yu. F. Voronin, T. T. N. Le // International Journal of Advanced Biotechnology and Research. – 2016. – Vol. 7, № 2. – P. 710-716.
32. Kizim, A. V. The Developing of the Maintenance and Repair Body of Knowledge to Increasing Equipment Maintenance and Repair Organization Efficiency / A. V. Kizim // Information Resources Management Journal (IRMJ). – 2016. – Vol. 29, № 4. – P. 49-64.
33. Nguyen, L. T. T. Creation and use of ontology of subject domain «electrical engineering» / L. T. T. Nguyen, A. V. Matokhina, A. V. Kizim // 2015 9th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). – IEEE Publishing, 2015. – P. 25-29.
34. Matokhina, A. V. Application of a Production a Network for Obtaining Information on the Reasons of Appearance of Defects and Ways of its Elimination / A. V. Matokhina, A. V. Kizim // Research Journal of Applied Sciences. – 2015. – Vol. 10, № 1. – P. 1-6.
35. Development of Ontological Knowledge Representation Model of Industrial Equipment / A. Kizim, A. Matokhina, B. Nesterov // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science, CIT&DS 2015, Volgograd, Russia, September 15-17, 2015: Proceedings. – Cham: Springer, 2015. – Vol. 535. – P. 354.

36. Intellectual information support for operation of technical systems based on ontological engineering / V. V. Pantelev, A. V. Kizim, A. V. Matokhina, V. A. Kamaev // *Procedia Computer Science*. – 2015. – Vol. 64. – P. 808-815.
37. Processing of structured physical knowledge in the form of physical effects / Д.М. Коробкин, С.А. Фоменков, С.Г. Ко-лесников, А.В. КИЗИМ, В.А. Камаев // *European Conference on Data Mining 2015. International Conferences on Intelligent Systems and Agents 2015. Theory and Practice in Modern Computing 2015: part of the Multi Conference on Computer Science and Information Systems 2015 (Las Palmas de Gran Canaria, Spain, July 22-24, 2015): Proceedings / IADIS – International Association for Development of the Information Society, University of Las Palmas de Gran Canaria. – Las Palmas de Gran Canaria (Spain), 2015. – P. 173-177.*
38. Decision support in determining of repair actions using fuzzy logic and agent system / M. V. Denisov, A. V. Kizim, V. A. Kamaev, S. V. Davydova // *Proceedings of the European Conference on Data Mining 2014 and International Conferences on Intelligent Systems and Agents 2014 and Theory and Practice in Modern Computing 2014 (Lisbon, Portugal, July 15-17, 2014) / IADIS (International Association for Development of the Information Society). – Lisbon (Portugal), 2014. – P. 217-221.*
39. Developing a model of multi-agent system of a process of a tech inspection and equipment repair / V. V. Pantelev, A. V. Kizim, V. A. Kamaev, O. A. Shabalina // *Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering. – Cham: Springer, 2014. – P. 457-465. – (Series: Communications in Computer and Information Science ; Vol. 466).*
40. Solution on decision support in determining of repair actions using fuzzy logic and agent system / M. V. Denisov, A. V. Kizim, V. A. Kamaev, S. V. Davydova, A. V. Matokhina // *Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering. – Cham : Springer, 2014. – P. 533-541. – (Series: Communications in Computer and Information Science ; Vol. 466).*
41. Repair and maintenance organization with the use of ontologies and multi-agent systems on the road sector example / M. V. Denisov, A. V. Kizim, A. V. Matokhina, N. P. Sadovnikova // *World Applied Sciences Journal. – 2013. – Vol. 24, № 24. – P. 31-36.*
- В научных сборниках и официальных изданиях (выборочно):
42. Кизим, А. В. Задачи интеллектуальной поддержки модернизации и ремонта технических систем / А. В. Кизим // *Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине : сб. науч. тр. V междунар. науч. конф. (17-21 декабря 2018 г.). В 2 ч. Ч. 2 / ФГАОУ ВО «НИ Томский политехнический ун-т», ФГБОУ ВО «Томский гос. пед. ун-т». – Томск, 2018. – С. 413-418.*
43. Матохина, А.В. Describing technical system monitoring, diagnostic and modernization methodology / A. V. Matokhina, A. V. Kizim // *Information Innovative Technologies (I2T) : materials of the International Scientific-Practical Conference (Prague, Czech Republic, April 24-28, 2017); Moscow Technological Univ. (MIREA), Russian Centre of Science and Culture in Prague, Association of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky [et al.]. - Moscow, 2017. - С. 567-571.*
44. Интеллектуальная платформа модернизации технической системы на примере персонального компьютера / А. В. Матохина, А. В. Кизим, Д. Е. Сквazников, А. А. Алешкевич // *Распределённые компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN–2017): материалы Двадцатой междунар. науч. конф. (г. Москва, 25-29 сентября 2017г.) / ИПУ им. В. А. Трапезникова РАН, Научно-производственное объединение «Информационные и сетевые технологии» [и др.]. – Москва, 2017. – С. 458-465.*
45. Пантелеев, В.В. Поддержка эксплуатации технических систем на основе онтологий / В.В. Пантелеев, А.В. Кизим // *Инновационные технологии в науке и образовании: сб. ст. победителей IV междунар. науч.-практ. конф. (г. Пенза, 25 мая 2017 г.). В 3 ч. Ч. 1; Международный центр научного сотрудничества «Наука и Просвещение». - Пенза, 2017. - С. 138-140.*
46. Проектирование платформы модернизации технической системы и её применение на примере персонального компьютера / А.В. Матохина, А.В. Кизим, Д.Е. Сквazников, А.А. Алешкевич // *Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2017):*

- тр. XVII междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 12-14 декабря 2017 г.); РАН, Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова. - Москва, 2017. - С. 418-422.
47. Пантелеев, В. В. Многоагентная система управления техническим обслуживанием промышленного оборудования / В. В. Пантелеев, А. В. Кизим, В. А. Камаев // Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'16». В 3 т. Т. 3. Молодёжная научно-техническая конференция «Информационные системы и технологии – 2016». Секция «Многоагентные системы и принятие решений» / Российская ассоциация искусственного интеллекта, ФГАОУ ВО ЮФУ. – Таганрог, 2016. – С. 134-135.
48. Морозов, А. О. Проблема автоматизации мониторинга и диагностики состояния аппаратного и программного обеспечения компьютерного оборудования / А. О. Морозов, А. В. Кизим // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 4. – С. 168-171.
49. Кизим, А. В. Интеллектуальная программно-информационная поддержка функционирования и модернизации общепромышленного оборудования / А. В. Кизим // Системные проблемы высокой надёжности, математического моделирования и инновационных технологий изделий ответственного назначения (ИННОВАТИКА – 2015): материалы XXI междунар. науч.-техн. конф. и Рос. науч. школы молодых учёных и специалистов / под науч. ред. Ю. Н. Кофанова; Науч. школа «АСОНИКА», НИУ ВШЭ, РАЕН [и др.]. – Москва; Сочи, 2015. – С. 66-68.
50. Матохина, А. В. Модели представления знаний для проектирования, эксплуатации и модификации технических систем / А. В. Матохина, А. В. Кизим // Информационные технологии в науке, образовании и управлении: материалы XLIV междунар. конф. и XIV междунар. конф. молодых учёных IT + S&E'15 (Гурзуф, 22 мая – 1 июня 2015 г.). Весенняя сессия / под ред. Е. Л. Глориозова; ООО «Институт новых информационных технологий». – Москва, 2015. – С. 224-233.
51. A Conceptual Agent-based Model to Supporting the Production Equipment Technical Service and Repair Organization / A. V. Kizim, M. V. Denisov, S. V. Davydova, V. A. Kamaev // Procedia Technology. – 2014. – Vol. 16. – P. 1176-1182.
52. Пантелеев, В. В. Developing a Model of Equipment Maintenance and Repair Process at Service Repair Company Using Agent-Based Approach / В. В. Пантелеев, В. А. Камаев, А. В. Кизим // Procedia Technology. – 2014. – Vol. 16. – P. 1072-1079.
53. The using of agents and fuzzy neural networks for maintenance and repair on example of road-building machines / М. В. Денисов, А. В. Кизим, С. В. Давыдова, Д. А. Давыдов, В. А. Камаев // Innovation Information Technologie : mater. of the 3rd Int. scien.-pract. conf. (Prague, April 21-25, 2014). Part 3 / МИЭМ ВШЭ, Рос. центр науки и культуры в Праге. – Москва, 2014. – №. 3. – С. 154-158.

Свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ и отраслевой регистрации:

54. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017611759 от 9 февраля 2017 г. Российская Федерация. Программа автоматизации наполнения онтологий / Б. В. Нестеров, А. В. Кизим, А. В. Матохина; ВолгГТУ. – 2017.
55. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017611705 от 8 февраля 2017 г. Российская Федерация. Мультиагентная система мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния технической системы на примере автомобиля / Н. А. Никитин, А. В. Кизим, А. В. Матохина; ВолгГТУ. – 2017.
56. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2008614334 от 10 сентября 2008 г. Российская Федерация. Система автоматизации ремонтных служб предприятия / А. В. Кизим, Н. А. Линева, В. А. Минаков; ООО «АРМСофт». – 2008.
57. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2007613560 от 22 августа 2007 г. Российская Федерация. Автоматизированная система прогнозирования и планирования обслуживания оборудования предприятия / Н. А. Линева, А. В. Кизим; ООО «АРМСофт». – 2007.

Подписано в печать 11.02.2021г. Заказ № ____.

Тираж 110 экз. Усл. печ. л. 2,0

Формат 60 x 84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Издательство Волгоградского государственного технического
университета.

400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28, корп. №7