

Министерство науки и высшего образования
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Кизим Алексей Владимирович

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

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

Диссертация
на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант:
д.т.н., профессор
Кравец Алла Григорьевна

Волгоград 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	6
1 Анализ современных методов и системы управления организации техническим обслуживанием и ремонтами промышленного оборудования.....	21
1.1 Определение объекта и предмета исследования	21
1.2 Исследование жизненного цикла промышленного оборудования в аспекте организации ТОиР.....	25
1.3 Анализ видов и методов организации ремонта и технического обслуживания	31
1.3.1. Методы организации ТОиР.....	39
1.4 Модели организации и управления ТОиР	42
1.4.1. Проведение работ по факту	44
1.4.2. Проведение работ по фактической оценке состояния оборудования .	44
1.4.3. Планово-предупредительные ремонты	45
1.4.4. Последовательная модель организации процесса технического обслуживания и ремонтов оборудования.....	48
1.4.5. Методология ТРМ для повышения эффективности предприятий и организаций	50
1.5 Анализ основных проблем в области научной поддержки организации работ по ТОиР промышленного оборудования общего назначения	57
1.6 Анализ существующих решений в области автоматизации ТОиР	60
1.6.1. Анализ существующих систем автоматизации ТОиР.....	63
1.6.2. Подходы к программной реализации поддержки ТОиР.....	73
1.7 Цели и задачи исследования	79
1.8 Основные результаты и выводы по главе 1.....	80
2 Системное исследование процесса ТОиР.....	82
2.1 Систематизация этапов, задач, методов и средств поддержки ТОиР	82
2.2 Системологическая модель процесса технического обслуживания и ремонта.....	84
2.3 Субъекты ТОиР	86
2.3.1. Отдел главного механика (ОГМ)	87

2.3.2.	Эксплуатационный персонал.....	88
2.3.3.	Подрядная организация.....	89
2.4	Роль субъектов ТОиР.....	90
2.4.1.	Подготовка ТОиР.....	91
2.4.2.	Проведение ТОиР.....	92
2.4.3.	Контроль ТОиР.....	93
2.5	Конфликт целей субъектов.....	94
2.6	Структурно-функциональные и потоково-информационные модели процесса ТОиР.....	97
2.6.1.	Типовые задачи программно-информационной поддержки процесса ТОиР	102
2.7	Основные результаты и выводы по главе 2.....	104
3	Разработка научно–методологических основ поддержки процесса технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования.....	106
3.1	Концепция программно-информационной поддержки проактивного ТОиР промышленного оборудования.....	106
3.2	Управление процессом ТОиР ПрО с помощью системы показателей.....	108
3.2.1.	Система показателей качества продукции (изделий).....	108
3.2.2.	Метод непрерывного улучшения процесса ТОиР ПрО с помощью системы показателей.....	111
3.2.3.	Организация процесса ТОиР с помощью систем сбалансированных показателей и ключевых показателей.....	117
3.3	Формальная постановка задачи выбора стратегии ТОиР.....	125
3.4	Поддержка принятия решения о выборе стратегий ТОиР оборудования.....	126
3.4.1.	Прогнозирование состояния оборудования для выбора стратегии предупредительного обслуживания.....	130
3.5	Когнитивное моделирование факторов организации ТОиР.....	136
3.6	Сбор и препроцессинг параметров оборудования.....	139
3.7	Поддержка принятия решения о модернизации оборудования с учётом новых условий производства.....	140
3.8	Разработка библиотеки методов принятия решения.....	141
3.9	Планирование работ по ТОиР.....	147
3.10	Определение затрат на ТОиР оборудования.....	151

3.10.1.	Определение затрат на ремонт в планируемом году с учетом коэффициентов ремонтной сложности оборудования.....	153
3.10.2.	Определение затрат на ремонт силами сторонних организаций на договорной основе	154
3.10.3.	Определение затрат на ремонт силами предприятия	155
3.11	Основные результаты и выводы по главе 3	155
4	Модели и методы интеллектуальной поддержки организации ТОиР.....	159
4.1	Информационная модель знаний об объекте ТОиР	159
4.1.1.	Параметрические модели представления информации о ТС	160
4.1.2.	Структурно-параметрическая модель.....	161
4.1.3.	Структурно-параметрическая функциональная модель	164
4.1.4.	Описание структурных компонент модели ПарФС	164
4.1.5.	Формальное описание компонент модели ПарФС.....	167
4.1.6.	Описания характеристик для использования модели ПарФС.....	170
4.1.7.	Формализация изменения описания объекта на протяжении жизненного цикла	172
4.1.8.	Апробация модели ПарФС.....	173
4.2	Метод синтеза новой ТС в процессе модернизации с применением ПарФС	174
4.3	Метаонтологическая модель ТОиР промышленного оборудования.....	176
4.4	Модель интеллектуальной многоагентной системы для задач поддержки ТОиР промышленного оборудования.....	181
4.5	Основные результаты и выводы по главе 4.....	185
5	Разработка и экспериментальное внедрение программно-информационных систем для автоматизированной поддержки работ по ТОиР	188
5.1	Инженерная методика разработки ПО поддержки ТОиР промышленного оборудования на основе платформы быстрого прототипирования.....	189
5.1.1.	Проектирование системы автоматизации процесса ТОиР	189
5.1.2.	Принцип построения платформы быстрой разработки программных систем поддержки ТОиР оборудования	192
5.2	Инженерная методика внедрения программно-информационной поддержки ТОиР промышленного оборудования	194

5.3	Методика автоматизации ремонтных работ промышленного оборудования	196
5.4	Апробация подхода к автоматизации	198
5.4.1.	Апробация на сервисном ремонтном предприятии ООО «Волгоградсервис».....	201
5.4.2.	Апробация на предприятии ООО "Таганай"	203
5.4.3.	Апробация системы планирования ТОиР в ОАО «Баррикады»	204
5.5	Основные результаты и выводы по главе 5.....	212
	Заключение	214
	Список сокращений и условных обозначений	216
	Список литературы	217
	Приложения	235
	Приложение А – Документы, подтверждающие внедрение результатов диссертации	235
	Приложение Б – Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.....	239
	Приложение В – Алгоритмы и схемы по программным решениям	244
	Приложение Г – Реализация библиотеки методов поддержки принятия решения	248
	Приложение Д – Примеры экранов разработанных систем, формируемых ими отчетов и документов	282

ВВЕДЕНИЕ

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 оборудова-

ния «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.

Степень ее разработанности.

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. Акиндеев, А.Авиженис, Е.Ю. Барзилович, Р. Барлоу, И.А. Биргер, Г.Б. Бурдо, В.Г. Воробьёв, 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. Согомоян, В.И. Шаманов, Т.Т. Allan, S. Tolda, Н. Fujiwara, К. Kinoshita, М. Guida, С. 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. Сабденкова, 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. Ящуры. 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 (ПроО).

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 (ППрР) при определении стратегии ТОиР.

- 3) Разработать алгоритмы ППрР, 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 разработке 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. 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 методология 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 функционирования 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. На защиту выносятся:

- 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 ха-

рактик), 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: JER_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 ТООР и его программно-информационной поддержки.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на Международных конференциях «Системные проблемы надежности, качества, инфор-

мационных и электронных технологий «Инноватика» (Москва-Сочи, 2004–2015гг., МИЭМ/ВШЭ); IT + S&E` (Гурзуф, 2004–2016); «ТРИС» (Таганрог, 2011–2012), JCKBSE 2014 (Volgograd, 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, 2004-17гг.); «Нечёткие системы и мягкие вычисления (НСМВ-2009); "САПР и информационные системы" (Воронеж, 2014г.); «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития» 2012-14гг. (Проект SWorld); Intelligent Systems and Agents (ISA 2014, Lisbon); "Теория активных систем 2014" (ТАС-2014), ИПУ РАН (17-19 ноября 2014г.), «Управление большими системами» (Волгоград, 2015), SMART (Индия, 2016 и 2018гг.), AICT (Азербайджан, 2016, Москва 2017), CITDS (2015, 2017), ITSMSSM 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, 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.

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.

Личный вклад автора заключается в разработке основных теоретических положений, выносимых на защиту; в разработке методов и методик, вошедших в структуру методологии; 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.

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, а также исследованы проблематика, цели, задачи организации ТОиР.

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.

В третьей главе проводится разработка научно–методологических основ поддержки процесса технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования. Предложена концепция программно-информационной поддержки ТОиР промышленного оборудования. Дана постановка задачи принятия решения. Разработан метод непрерывного улучшения процесса ТОиР ПрО. Сформулирована формальная постановка задачи выбора стратегии ТОиР. Разработаны метод ППрР при выборе стратегии ТОиР ПрО, алгоритм определения ремонтных воздействий с учетом рисков, алгоритм выбора стратегии ТОиР, алгоритм прогнозирования состояния оборудования с использованием накопленных статистических данных и алгоритм прогнозирования состояния оборудования с использованием показаний КИП, образующие метод прогнозирования состояния оборудования, метод ППрР о модернизации имеющегося оборудования с учётом новых условий производства

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. Формализована модель инвариантного представления информации об объектах проектирования «параметрическая функциональная структура», охватывающая описание объекта на протяжении всего жизненного цикла и позволяющей разным субъектам выполнять выявленные функции с использованием единых принципов описания объекта проектирования. 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. Описаны метод синтеза новой ТС с использованием ПарФС для изме-

нения конструкции обслуживаемого объекта, алгоритм синтеза новой ТС с использованием ПарФС, алгоритм синтеза И-ИЛИ-дерева структуры ТС.

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

Построена модель интеллектуальных агентов для реализации МАС задач поддержки ТОиР, архитектура многоагентной системы поддержки ТОиР.

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: методика разработки ПО поддержки ТОиР промышленного оборудования на основе платформы быстрого прототипирования, методика внедрения программно-информационной поддержки ТОиР промышленного оборудования.

Сформулированы требования, архитектура программной системы, ее функциональность, принципы построения архитектуры систем. Описана апробация подхода к автоматизации на сервисном ремонтном предприятии, промышленных предприятиях, в учебных целях. Проведена оценка эффективности применения

систем

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.

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 Матехиной А.В. за предоставленные возможности по проведению и апробации, обсуждение результатов исследований; Линеvu 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.

1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ И РЕМОНТАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Определение объекта и предмета исследования

Современная реальность требует повышения эффективности предприятий. Эффективность производственного предприятия зависит от эффективности работы оборудования и эффективности работы эксплуатирующих служб. Важность рациональной организации функционирования оборудования обосновывается тем, что по оценкам ремонтный фонд в структуре сметы производственных затрат предприятий занимает 15-30%, до 60% производственного и инженерно-технического персонала так или иначе связаны с обслуживанием производственного оборудования.

Система технического обслуживания и ремонта (ТОиР) оборудования – одна из наиболее сложных областей системы управления производством. Отказы оборудования могут иметь катастрофические последствия не только для выполнения производственной программы, но и жизнеспособности и устойчивости предприятия в целом. Согласно ГОСТ 18322-78 [51], системой технического обслуживания и ремонта техники называют совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества изделий, входящих в эту систему.

Согласно [51], техническое обслуживание – это комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности изделия при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании; ремонт – комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности изделий и восстановлению ресурсов изделий или их составных частей.

Также используется термин «профилактические» работы [142], который

объединяет:

- техническое обслуживание (ежедневное, ежемесячное, годовое, сезонное и т.д.);
- контроль работоспособности и диагностика отказов;
- текущий ремонт (ремонтно-восстановительные работы).

При установке нового оборудования, а также модернизации существующего установленного на предприятии оборудования нужно принимать различные решения о его обслуживании и ремонте, составлять его программу обслуживания. Иногда такая проблема решается производителем оборудования, но обычно производитель заинтересован в привлечении своих сотрудников или аффилированных с ним лиц к обслуживанию и ремонту производимого и продаваемого им оборудования. Поэтому новое оборудование не всегда имеет достаточно четко прописанную программу обслуживания, и, как следствие, не всегда эксплуатируется рационально.

Если подняться на уровень выше и взглянуть на проблему системно, то, на самом деле, необходимо учитывать весь цикл жизни оборудования от проектирования до утилизации. Такой взгляд на решение задач обеспечения работоспособности оборудования с учетом его жизненного цикла позволяет достичь не только более рациональной эксплуатации оборудования, но и обеспечить обратную связь с проектировщиками и производителями оборудования от производителей, его эксплуатирующих. Надо брать на вооружение незаслуженно забытый опыт использования такой обратной связи эпохи расцвета советского производственного хозяйствования. В настоящее время такой подход применяется в-основном только в военно-промышленном комплексе. Также вопросы раннего планирования вопросов утилизации оборудования и повторного использования его узлов позволяют более бережно использовать ресурсы [157].

Какие проблемы встают в процессе эксплуатации промышленного оборудования общего назначения? Отказы оборудования сокращают прибыль компаний. На многих заводах не производится своевременная экономически оправданная

модернизация и замена старого оборудования на более производительное и экономически выгодное для эксплуатации новое. По данным [151] у более 50% промышленного оборудования выработан ресурс. Ситуация подчас напоминает известное идиоматическое выражение «тришкин кафтан». Только приводится в работоспособное состояние одно критически важное для производства оборудование, как отказывает другое и бригада ремонта сосредотачивает силы на его ремонте. Потом происходит отказ первого оборудования, и ремонтники возвращаются к нему. И так по кругу. И это все потому, что на многих предприятиях просто отсутствуют методики организации ремонта и технического обслуживания оборудования. Используемые в советские времена методы планово-предупредительного ремонта на современном этапе не используются по ряду причин. Да и стратегия обслуживания с планово-предупредительными ремонтами не всегда оправдана. Часто встречаются такие ситуации, когда применимы более прогрессивные стратегии обслуживания оборудования. Однако, прогнозировать отказ оборудования многим предприятиям не по силам.

Таким образом, необходимо:

- 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 предприятию.

На различных предприятиях используется оборудование общего назначения, которое является наиболее распространённым подмножеством промышленного оборудования (ПрО). К ПрО, согласно [165], относится:

- металлорежущее;
- деревообрабатывающее;
- кузнечно-прессовое;
- литейное электропечное;
- дробильно-размольное;
- сортировочное;
- электрические машины;
- компрессорно-холодильное оборудование и насосы;
- оборудование вентиляции и кондиционирования;
- трубопроводы общехозяйственные;
- подвижный состав автомобильного транспорта.

Оборудование является технической системой (ТС) (синоним – технический объект). Согласно [117], технический объект (ТО) – создаваемое или созданное человеком, или автоматом реально существующее (существовавшее) устройство, предназначенное для удовлетворения определенной потребности. К ТО будем относить любой из элементов (агрегат, блок, узел, деталь), из которых состоят машины, аппараты, приборы и т. д., а также любой из комплексов взаимосвязанных машин, аппаратов, приборов.

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. В связи с этим технологией называют способ, метод или программу преобразования вещества, энергии или информационных сигналов из заданного начального состояния в заданное конечное состояние с помощью определенных ТО.

Каждый ТО может быть представлен описаниями, имеющими иерархическую соподчиненность. Описания характеризуются двумя свойствами:

- каждое последующее описание является более детальным и более полно характеризует ТО по сравнению с предыдущим;
- каждое последующее описание включает в себя предыдущее.

В этой связи можно сформулировать *объект исследования* – это процесс ТОиР промышленного оборудования на протяжении его жизненного цикла, и *предмет исследования* – методы поддержки принятия решений по организации ТОиР для обеспечения работоспособности оборудования на основе интеллектуальных технологий.

1.2 Исследование жизненного цикла промышленного оборудования в аспекте организации ТОиР

Признаки объекта меняются при его переходе из одного состояния в другое. Последовательность таких состояний объекта, характеризующихся относительно стабильным набором свойств, можно назвать жизненным циклом объекта техники. Объекты техники как объекты искусственного происхождения от момента появления потребности в них и до момента их исчезновения проходят различные этапы своего существования – жизненный цикл. 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.[55]

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 на его проектирование, 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.

Многие авторы рассматривали и выделяли этапы жизненного цикла объекта техники. В работе [71] предлагается следующие этапы, которые авторы называют фазами:

- постановка цели;
- разработка замысла новой машины;
- проведение целевых исследований;
- опытно-конструкторские работы;
- создание и исследование опытного образца машин;
- выпуск в экономическую сферу;
- прекращение выпуска и эксплуатации.

В работе [59] автор предлагает следующую упрощенную модель жизненного цикла, тем не менее, отражающую основные операции над объектом:

- потребность;
- проектирование;
- конструирование;
- изготовление;
- эксплуатация;
- ликвидация.

В исследовании [112] авторы подчеркивают, что достижение целей проек-

тирования осуществляется с учетом ограничений по выполнимости требуемых функций при отведенных ресурсах (габаритные размеры, масса, энергопотребление, свойства материалов, уровень производства и т.д.), заданных эксплуатационных воздействиях, а также ограничений на стоимость, применяемые технические средства и сроки самого проектирования. Выделяются следующие основные этапы жизненного цикла:

- выявление общественных потребностей на разработку новых объектов;
- проведение предпроектных исследований;
- разработка и анализ ТЗ;
- создание эскиза конструкции;
- расчет параметров;
- детальный анализ физических процессов, определяющих рабочие свойства объекта;
- расчет допусков на его параметры;
- вероятностный анализ с учетом технологических и эксплуатационных факторов;
- разработка проектной документации;
- технологическая подготовка производства;
- опытное производство;
- испытания;
- серийное производство;
- эксплуатация объекта;
- уничтожение после отработки ресурса.

В работах [56 и 75] произведено обобщение перечисленных выше моделей, представлена схема жизненного цикла с указанием областей применения автоматизированных систем. Жизненный цикл объекта техники представлен в виде последовательности следующих этапов:

- осознание и формулировка потребности в объекте проектирования;
- разработка технических требований к объекту;

- разработка функциональной структуры объекта;
- поиск принципов действия;
- поиск технического решения;
- разработка параметрической модели объекта, расчет и оптимизация параметров;
- разработка конструкции объекта, геометрии и размеров деталей и узлов, выбор материалов и комплектующих;
- разработка технологии изготовления объекта;
- разработка технологической оснастки и оборудования для изготовления объекта;
- изготовление объекта;
- контроль и испытания объекта;
- транспортировка и хранение объекта;
- использование объекта по своему назначению, эксплуатация;
- диагностика неисправностей, ремонт объекта;
- утилизация объекта.

Для сквозного описания ТС на протяжении различных стадий проектирования используют 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 (или, согласно [110], иерархически организованная модель, содержащая информацию об изделии, требуемую на этапах ЖЦ, при построении каждого из фрагментов которой использовались единые средства и методы построения). Такой способ организации данных о ТС важен для стыковки стадий ЖЦ с целью минимизации потерь информации и ресурсов на преобразование. Использование интегрированных моделей при решении задач организации ТОиР ОО является необходимым условием рациональной организации средств информационной поддержки. Помимо данных о ТС в модель должны включаться знания о способах их использования, эксплуатации и обслуживания.

Современное производство является сложной итеративной системой, в которой одновременно протекают различные циклы (Рисунок 1).

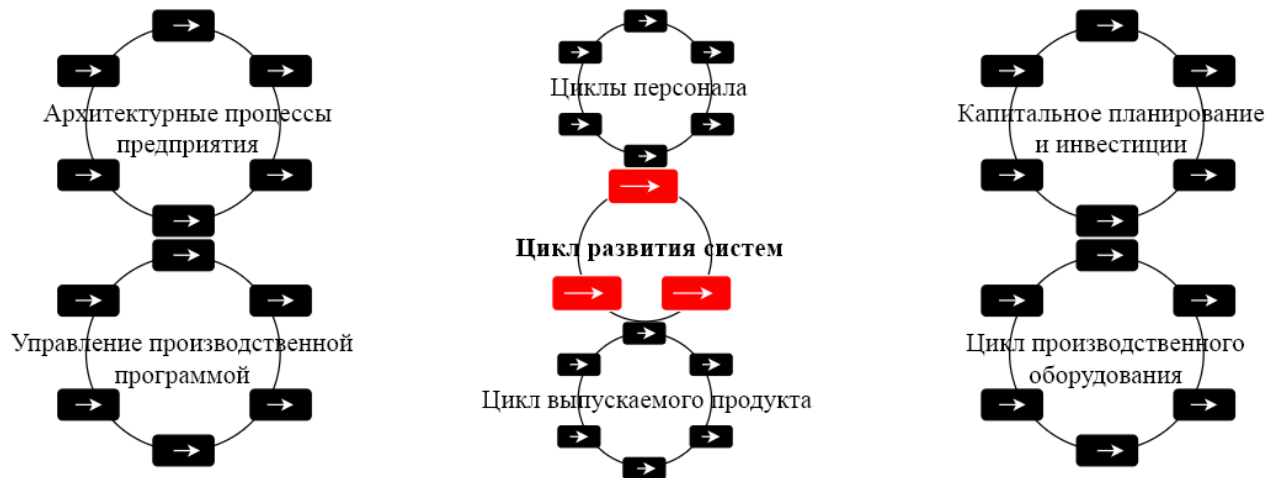


Рисунок 1 – Жизненные циклы систем предприятия.

В рамках такого взгляда на процесс подцикл ЖЦ оборудования является типовым циклом, включающим, как минимум, стадии ввода в эксплуатацию (это монтаж и наладка нового или вернувшегося из ремонта оборудования), непосредственно эксплуатацию и утилизационную стадию (часть подсистем и узлов оборудования могут быть повторно использованы). Управление технологическим оборудованием предприятия согласно [99] включает:

- приобретение оборудования;
- монтаж и проведение пусконаладочных работ;
- ввод в эксплуатацию;
- техническое обслуживание и ремонты оборудования;
- проверку оборудования на технологическую точность;
- вывод оборудования из технологического цикла.

Также выделяются циклы: технического обслуживания [51] – наименьший повторяющийся интервал времени или наработка изделия, в течение которых выполняются в определенной последовательности в соответствии с требованиями нормативно-технической или эксплуатационной документации все установленные виды периодического технического обслуживания; ремонтный цикл – наименьший повторяющийся интервал времени или наработка изделия, в течение которых

выполняются в определенной последовательности в соответствии с требованиями нормативно-технической или эксплуатационной документации все установленные виды ремонта.

Стоимость затрат на оборудование, которая складывается из общих совокупных затрат на протяжении жизненного цикла оборудования [82]. В общем виде затраты на ЖЦ оборудования LCC [84] составляют:

$$LCC = \int_{t_0}^T C_i dt, \text{ где } C_i \in \{C_{ic}, C_{in}, C_e, C_o, C_m, C_s, C_{env}, C_d\}, \quad (1)$$

где 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.

Для организации программно-информационной поддержки ТОиР оборудования необходимо выявить основные задачи поддержки, а также предложить, исследовать и апробировать соответствующие методы решения и методические средства поддержки. В таблице 1 приведена систематизация стадий, задач, методов и средств поддержки ТОиР с учетом ЖЦ оборудования, которая позволяет сформировать стратегии ТОиР. Предложенные методы будут исследованы ниже.

1.3 Анализ видов и методов организации ремонта и технического обслуживания

В процессе эволюции взглядов на организацию ТОиР за последние десятилетия появились новые подходы к организации этого процесса. Если еще лет 60-70 назад при эксплуатации промышленного оборудования преобладал подход с реактивными ремонтами после наступления отказов. Согласно [144], мощный стимул исследованиям в области надежности дала корейская война 1950–1953 гг., где американские войска столкнулись с серьезной проблемой обеспечения работоспособности военной техники на удаленном театре военных действий. Реактивный подход стал не вполне применим из-за трудностей с доставкой запчастей.

Появилось предупредительное обслуживание, согласно которому определялись сроки проведения плановых предупредительных ремонтов (ППР) и обслуживания (осмотров и, при необходимости, ремонтных вмешательств). Структура работ по ППР согласно [165] – см. Рисунок 3.

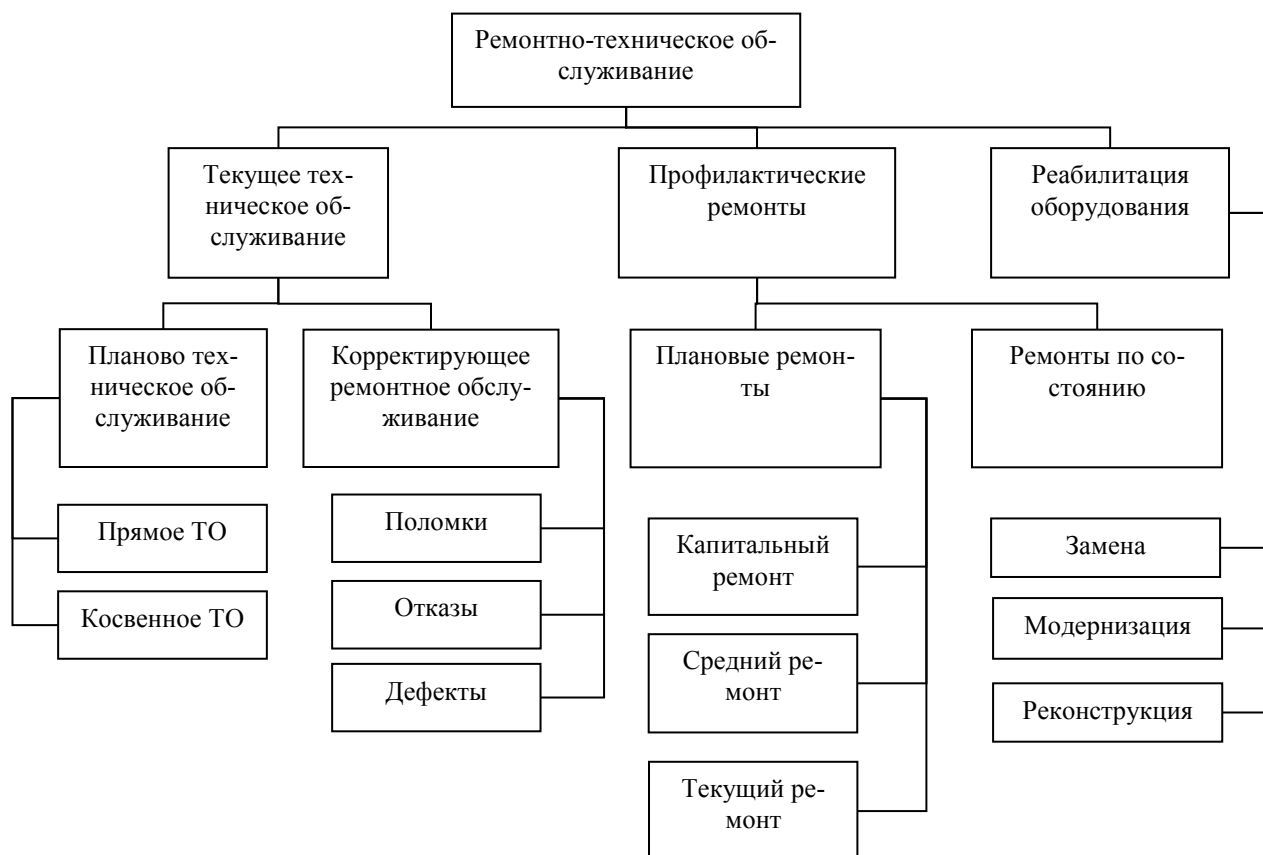


Рисунок 2 – Состав работ по ТОиР.

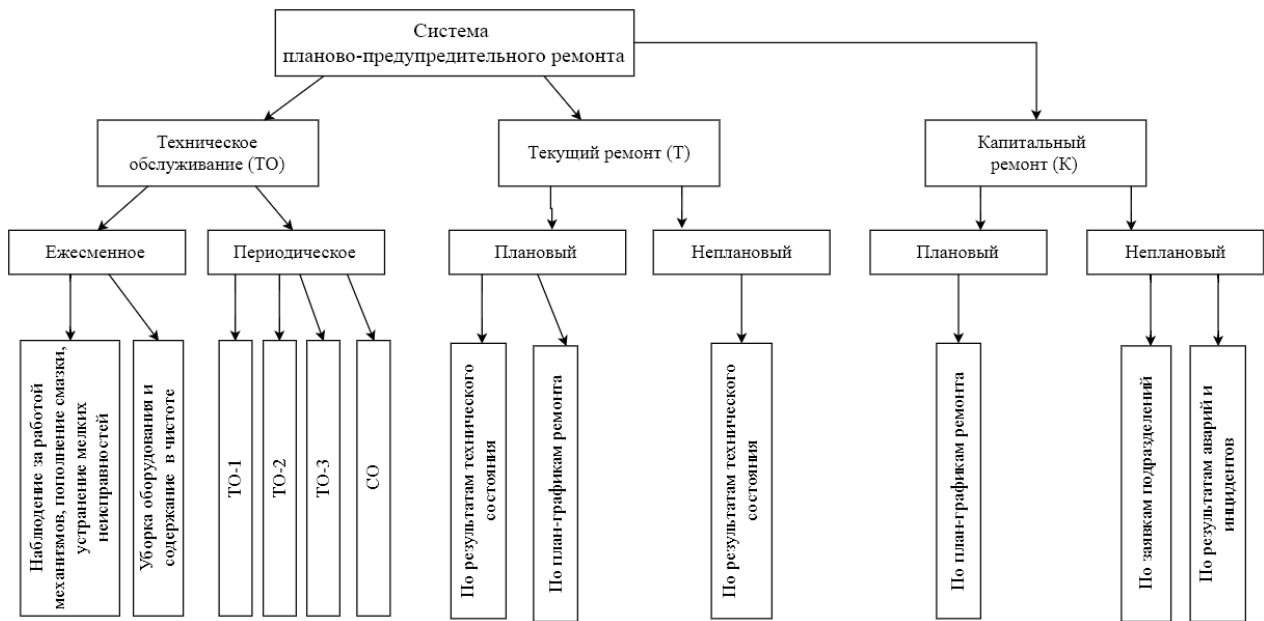


Рисунок 3 – Состав работ по ТОиР при планово-предупредительном ремонте.

Вероятность возникновения отказа определялась статистическими испытаниями. Сроки проведения ТОиР стали определять на основании математического ожидания по достижению некоторого времени наработки оборудования. После этого для конкретных групп и видов оборудования регламентировались сроки ремонтов, исходя из наработки в часах, пройденных километрах пути и т.п.

Схема определения сроков работ по ТОиР согласно ППР – см. Рисунок 4.

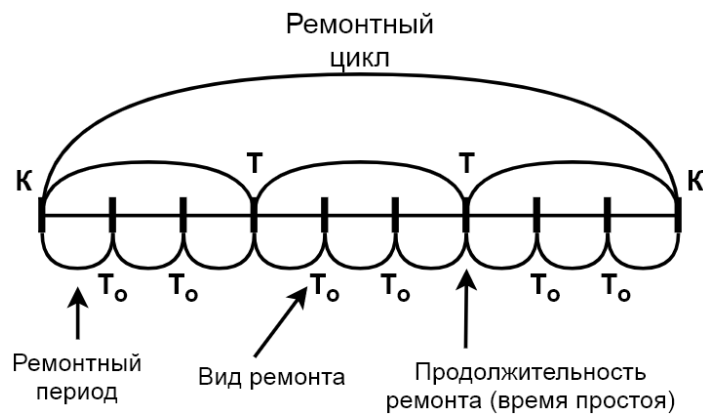


Рисунок 4 – Структура циклов ТОиР при подходе ППР.

Расчет ремонтного цикла оборудования в подходе ППР производится следующим образом:

$$D_i = K + pTO_1 + mTO_2 + \dots + kT + K, \quad (2)$$

где D_i – дата выполнения данного вида работ;

p, m, k – порядковый номер операций технического обслуживания ТО, текущих Т и капитальных К ремонтов в ремонтном цикле;

$TO_i = \{TO_1, TO_2, \dots, TO_n\}$ – периодичность выполнения операции технического обслуживания, Т – текущего ремонта, n – количество predetermined типов ТО;

K – дата сдачи оборудования в эксплуатацию или дата проведения последнего капитального ремонта (год, месяц).

Решение проблематики подхода ППР осуществлялось с помощью методов статистики и линейного программирования. Отраслевые научные институты СССР выпустили множество справочников по ремонту разных видов оборудования [67, 141 и др.], в которых приводились данные по межремонтным циклам Т и К, а также $TO_1, TO_2, \dots$

Однако, данный подход: не всегда оправдан и влечет лишние издержки. Рекомендованный срок обслуживания еще не означает, что действительно вскоре после этого срока произойдет отказ.

Долгое время превалировал классический взгляд на закономерность отказов невосстанавливаемых элементов оборудования [86], который представлен графически ниже (Рисунок 5).

$\lambda(t)$ – интенсивность отказа [86], число отказов в единицу времени, условная плотность вероятности возникновения отказа невосстанавливаемого объекта, определяемая для наработки на отказ при условии, что до этой наработки отказ не возник:

$$\lambda(t) = - \frac{1}{P(t)} \cdot \left(\frac{dP}{dt} \right), \quad (3)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы [52], выражает вероятность того, что к моменту времени t объект не откажет.

Для восстанавливаемых объектов используется показатель $\omega(t)$ – параметр потока отказов, удельное число отказов в единицу времени и на один образец.

Этот показатель также характеризует восстанавливаемый объект и по статистическим данным определяется с помощью формулы [86]:

$$\omega(t) = \frac{n(t_2) - n(t_1)}{t_2 - t_1}, \quad (4)$$

где $n(t_1)$ и $n(t_2)$ - количество отказов объекта, зафиксированных соответственно, по истечении времени t_1 и t_2 .

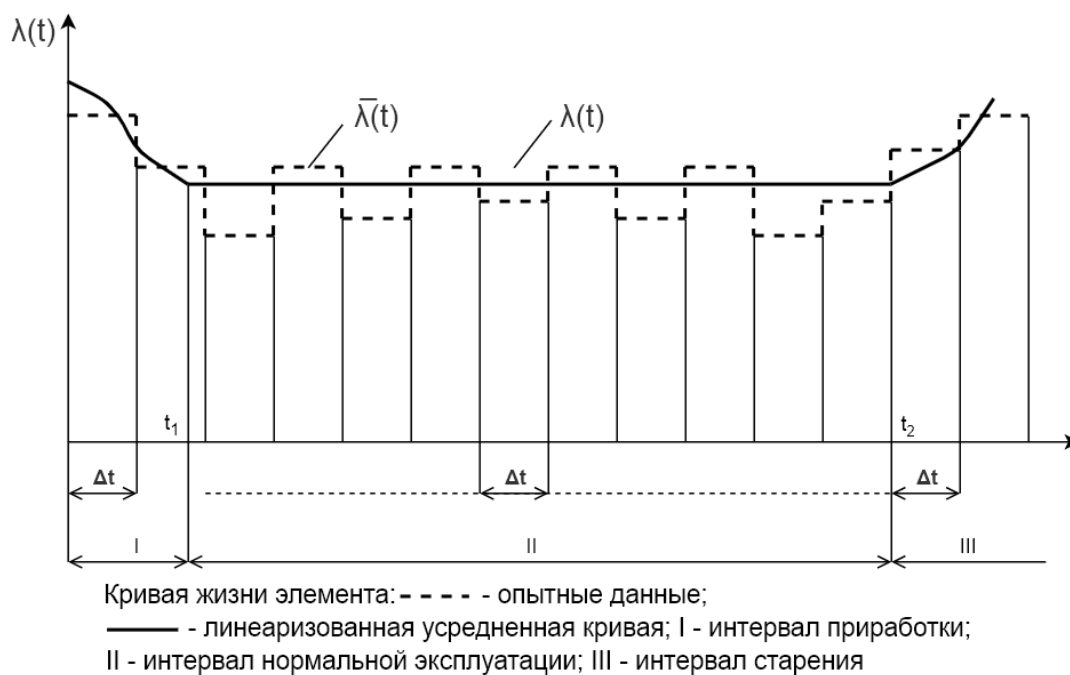


Рисунок 5 – Интенсивность отказов оборудования согласно классическому представлению.

Если используются данные об отказах по определенному количеству восстанавливаемых объектов, то

$$\omega(t) = \frac{n(\Delta t_i)}{N_0 \cdot \Delta t_i} \quad (5)$$

где $n(\Delta t_i)$ – количество отказов по всем объектам за интервал времени; N_0 – количество однотипных объектов, участвующих в эксперименте (отказавший объект восстанавливается, $N_0 = const$).

Параметр потока отказов представляет собой плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта. Отказы объектов возникают в случайные моменты времени и в течение заданного периода эксплуатации наблюдается поток отказов. Существует множество математических моделей потоков

отказов. Наиболее часто при решении задач надежности оборудования используют простейший поток отказов – пуассоновский поток [155].

Долгое время интенсивность отказов $\lambda(t)$ во время интервала эксплуатации считалась постоянной. Однако, последующие исследования, в частности [21, 23 и 137] показали, что не все так однозначно. Получены разные виды кривых жизни элементов оборудования (см. Рисунок 6).

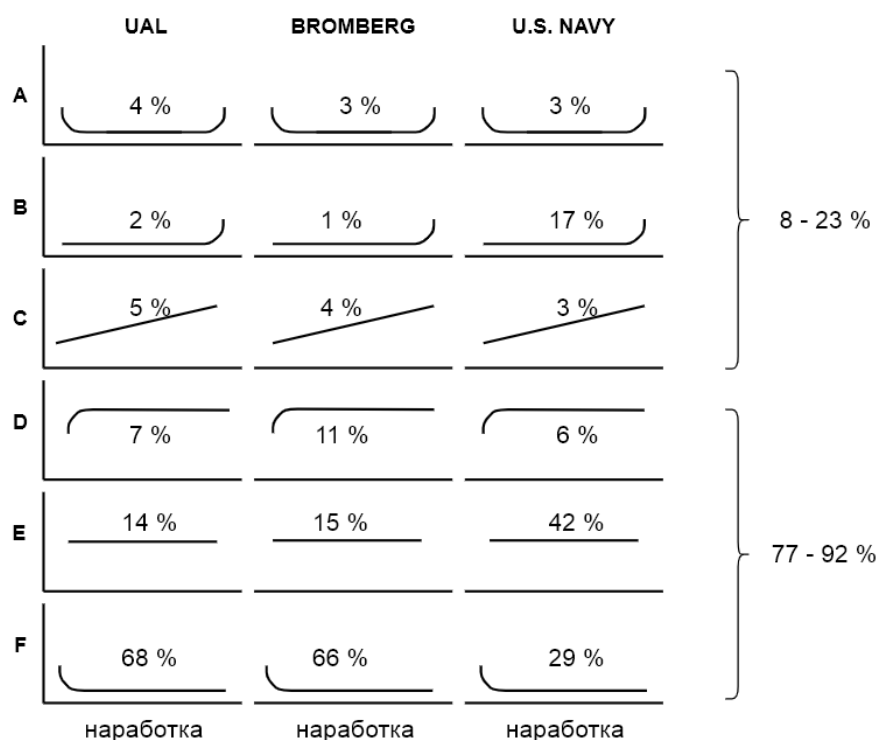


Рисунок 6 – Основные варианты распределения интенсивности отказов.

Оказалось, что только 8–23% отказов соответствует предположениям, что интенсивность отказов растет с наработкой. Эти отказы свойственны относительно простым объектам, а для технически сложного оборудования между вероятностью их отказа и сроком эксплуатации нет или почти нет взаимосвязи. А это от 77 до 92 % отказов. Для этих объектов интенсивность отказа, по крайней мере за пределами интервала приработки, имеет постоянную величину, не изменяющуюся с наработкой. Стало очевидно, что для 77–92 % отказов бессмысленно определять момент предупредительного ТОиР по величине наработки, так как наработка не позволяет прогнозировать приближение отказа. И что при планировании ТОиР в данном случае необходимо опираться не на наработку, а на фактическое техни-

ческое состояние оборудования [31]. Это послужило развитию подхода предупредительного обслуживания по состоянию [47].

Однако, предупредительное обслуживание было трудно реализовать на практике из-за необходимости в сложных и многочисленных системах диагностики, которые позволяли бы измерять и контролировать множество технических параметров оборудования для обслуживания по состоянию, а также в значительных затратах, которые требуются для определения характеристик надежности.

Кратко эволюция подходов может быть описана следующей схемой (Рисунок 7):



Рисунок 7 – Схема эволюции подходов к организации ТОиР.

Повышение эффективности организации исполнения ТОиР возможно за счет применения современных передовых методологий ТОиР и их комбинаций. В процессе совершенствования подходов к проведению ТОиР от реактивного ремонта (аварийные ремонты) оборудования по факту его отказов исторически был осуществлен переход к предупредительному обслуживанию PrM (в англоязычной литературе – Preventive maintenance) [76, 87], которое можно разделить на следующие основные виды: плановое обслуживание PlM (Planned maintenance – техническое обслуживание, постановка на которое осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технической или эксплуатационной документации [51]), примером методической организации которого являются подробные советские методики системы ТОиР, подробно описывавшие регламент ТОиР почти

всех видов промышленного оборудования; обслуживание (ремонт) по состоянию CBM (Condition-based maintenance. Это ремонт [51], при котором контроль технического состояния выполняется с периодичностью и в объеме, установленными в нормативно-технической документации, а объем и момент начала ремонта определяется техническим состоянием изделия); предупредительное обслуживание на основе прогнозных данных PdM (Predictive maintenance). Впоследствии предупредительное обслуживание было развито в проактивное PaM (ProActive).

Каждый из указанных подходов имеет свои достоинства и недостатки, и должен применяться согласно его условиям применения. В процессе поиска подходов к минимизации затрат на ТОиР, подход, заключающейся в уменьшении или расширении во времени РІМ, показал себя не с лучшей стороны. Выросшее количество аварийных работ либо приводило уровень затрат к прежнему уровню, либо повышало его. Это связано с наличием зависимости между затратами на ТОиР и надежностью оборудования, которая является нелинейной.

Подход к проведению ТОиР «обслуживание, ориентированное на надежность» (ReliabilityCentered Maintenance – RCM) [14, 18, 21], является более прогрессивным по сравнению с предыдущими подходами, т.к. он комбинирует их преимущества. Согласно RCM [31], различные единицы или группы оборудования на предприятии имеют разную значимость (критичность) для выполнения производственной системой своих функций и исключения возможного ущерба. Отказы оборудования с разной критичностью отличаются по опасности последствий. Поэтому нет смысла тратить ресурсы на предупреждение всех отказов, а предупреждать нужно только те, которые могут вызвать значимые последствия. Таким образом, RCM перемещает внимание предприятия с отказов как таковых на их последствия.

Реализация RCM начинается с функционального анализа оборудования:

- определение функций каждой единицы или группы оборудования в конкретных условиях его эксплуатации вместе с требованиями к качеству выполнения этих функций;

- определение перечня функциональных отказов как неспособности выполнять функции в соответствии с требованиями;
- определение перечня критичного оборудования, отказ которого ведет к функциональному отказу, расчет индекса критичности оборудования.

Наряду с критичным оборудованием выделяется некритичное. Это может быть резервированное оборудование, либо оборудование, отказ которого не влечет последствий в виде функционального отказа. Далее, по отношению к некритичному оборудованию применяется подход реактивных ремонтов, а по отношению к критичному – сочетание практик обслуживания по состоянию и ППР. В подходе RCM предупредительные практики комбинируются с ремонтами после отказов.

В отношении критичного оборудования применяется комплексная стратегия повышения надежности:

- АВПКО-анализ [53], формирование моделей оценки технического состояния, определение параметров надежности оборудования и интенсивности отдельных видов отказов;
- измерение и мониторинг параметров оборудования, использование их как исходных данных в моделях оценки состояния, применение моделей для расчета результирующего индекса состояния;
- расчет показателя важности [52] (интегральный показатель индекса критичности и индекса состояния);
- распределение оборудования по зонам стратегий обслуживания в зависимости от важности:
 - ранг 4 – осмотр и мониторинг;
 - ранг 3 – текущий ремонт и обслуживание;
 - ранг 2 – капитальный ремонт;
 - ранг 1 – замена оборудования;

Ранжирование работ по важности [102, 103] делается, чтобы направлять ограниченные ресурсы на выполнение в первую очередь тех работ по ТОиР, кото-

рые дадут наибольший вклад в повышение надежности.

В составе критичного оборудования выделяется группа, в отношении которой невозможен контроль состояния или где никакое обслуживание не приводило и не приведет к повышению надежности. Здесь применяется проактивный подход с выявлением коренных причин отказов, разрабатываются планы по реконструкции и модернизации оборудования для устранения коренной причины.

Во втором поколении подхода RCM2 [18] была добавлена задача оценки и сопоставления рисков (Risk-Based Mainenance – RBM) [12]. Существуют ситуации, когда оборудование может иметь высокий показатель критичности, но неудовлетворительное значение индекса состояния, то есть находиться в числе приоритетов на выполнение ТОиР, однако затраты на его обслуживание и ремонт при этом могут превышать стоимостную оценку тех последствий, которые возникнут в результате отказа этого оборудования. В этой связи необходимо определиться – снизить риск последствий путем проведения ТОиР, либо принять этот риск и ТОиР не проводить. Для принятия решения должна иметься достоверная и полная информация, в том числе о стоимости ТОиР.

Таким образом, 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 (важностью его постоянной работы), стоимость ремонта, сроки ТОиР и др. При этом целесообразно использовать экспертное ранжирование оборудования по группам на основе ряда критериев.

1.3.1. Методы организации ТОиР

Согласно [51], метод технического обслуживания (ремонта) – это совокупность технологических и организационных правил выполнения операций техни-

ческого обслуживания (ремонта). Там же выделяются такие методы, как поточный метод технического обслуживания (метод выполнения технического обслуживания на специализированных рабочих местах с определенными технологической последовательностью и ритмом), централизованный и децентрализованный методы технического обслуживания, обезличенный и необезличенный методы ремонта (сохраняется или нет принадлежность восстановленных составных частей к определенному экземпляру изделия), агрегатный метод ремонта (обезличенный метод ремонта, при котором неисправные агрегаты заменяются новыми или заранее отремонтированными), и прочие.

Если подходить к решению проблемы организации ТОиР комплексно, в качестве метода можно рассматривать описание алгоритмов способов организации выполнения процесса ТОиР в целом. Однако, в качестве понятия «метод» также часто используется описание способа решения конкретных задач (этапа или процедуры процесса организации ТОиР). Поэтому с целью снижения неоднозначности назовем такую группу методов организации выполнения процесса ТОиР в целом «методологией».

Наличие методологии само по себе не дает результат, важно помнить, что внедрять ее будут люди. Зачастую, основной причиной, снижающей эффективность нового подхода, является «человеческий фактор» [115]. Персонал не всегда готов работать по новым стандартам и правилам, отсутствует их понимание, а руководители не могут предоставить четкого плана действий. В результате, проект превращается из отличной идеи в ужасную действительность. Существует множество систем и руководств по улучшению координации между руководством и персоналом, повышению мотивации и вовлечению в жизнь предприятия. На каждом производстве данный вопрос решается индивидуально, универсальной методики нет, тем не менее, выделяют несколько подходов:

- снижение нагрузки на ремонтную бригаду и привлечение сотрудников ТОиР только в ситуациях, когда требуется специальная квалификация, особые навыки работы или инструменты;

— ранняя диагностика внешних проявлений возможных отказов оборудования - оператор скорее всего первым заметит падение мощности выработки, вибрации, утечку масла или любые другие отклонения от стандарта работы и, руководствуясь четкими инструкциями, он может принять решение: устранять причину сбоя своими силами или же вызвать ремонтную бригаду.

Также необходимо принимать во внимание такие факторы, как:

— мотивационный – эмоциональная и финансовая заинтересованность сотрудника в выполнении дополнительных обязанностей; отсутствие мотивации может привести к потере контроля над ситуацией и увеличению аварийности оборудования;

— организационный – наличие четкого регламента, списка обязанностей в виде памяток или инструкций для выполнения сотрудником работ в соответствующие сроки на требуемом уровне.

— квалификационный – необходимость в обучении и повышении квалификации персонала, а также проверке понимания, знаний и их практического применения.

Различные способы мотивации, а также технологии бережливого производства (в частности, самой сложной и многоплановой из систем – TPM, Total Productive Maintenance), позволяют заинтересовать оператора в обеспечении максимально эффективной работы вверенного ему оборудования [91]. Более того, согласно определению в [145], методология TPM – это обслуживание оборудования, позволяющее обеспечить его наивысшую эффективность на протяжении всего жизненного цикла с участием всего персонала.

С точки зрения мониторинга и контроля состояния оборудования TPM предусматривает построение двухуровневой системы мониторинга, когда базовый контроль и подготовку отчетности по ТЭП проводит оперативный персонал, а при выявлении дефектов и отклонений привлекаются специалисты по ремонту и диагностике (если необходимо – подрядчики). Данный подход имеет два очевидных плюса:

- достаточно быстрое и дешевое обучение оператора базовым операциям контроля состояния и выполнения ТО;
- оперативный персонал быстрее распознает отклонения в режимах работы оборудования, поскольку наблюдает за ним постоянно.

Таким образом, персонал очень быстро реагирует на изменение состояния, характера и интенсивности работы оборудования. Благодаря этому удастся в сжатые сроки найти оптимальное решение ремонтных работ.

Применение подхода к техническому обслуживанию оборудования, ориентированному на надежность, в комплексе с ТРМ в части управления персоналом позволяет существенно повысить эффективность обслуживания при сохранении затрат на прежнем уровне [115]. Для повышения эффективности работы служб ТОиР и работы оборудования в целом необходимо осуществлять правильный выбор стратегий ТОиР в сочетании с эффективным управлением ремонтным и эксплуатационным персоналом, а также логистикой запасных частей и материалов. При этом важно пересмотреть отношение ко всему процессу производства и переосмыслить значимость ремонтных служб в жизненном цикле предприятия.

1.4 Модели организации и управления ТОиР

Текущее ремонтное обслуживание – состоит из технического обслуживания (прямого и косвенного) и корректирующих ремонтов.

Техническое обслуживание – это комплекс процедур по поддержанию работоспособности и исправности оборудования при его эксплуатации.

Корректирующие ремонты – текущее ремонтное обслуживание по устранению дефектов и отказов оборудования, т.е. неплановый ремонт, на который постановка оборудования осуществляется без предварительного назначения.

Профилактическое ремонтное обслуживание включает плановые ремонты и ремонты по состоянию оборудования. При профилактическом ремонтном обслуживании производятся работы в соответствии с требованиями нормативно-

технической документации.

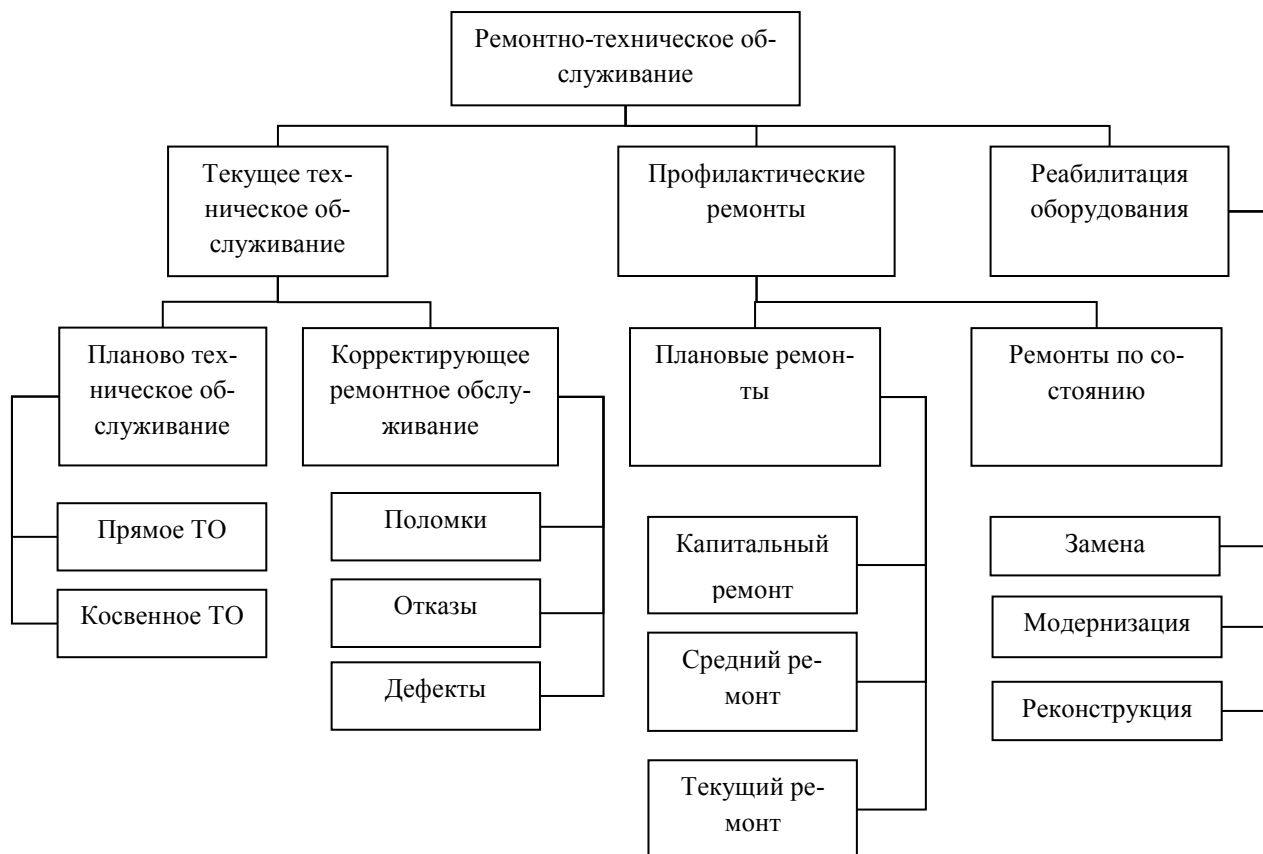


Рисунок 15 – Состав работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Плановое ремонтное обслуживание включает ремонты, выполняемые по графику для обеспечения или восстановления работоспособности оборудования. Плановые ремонты выполняются в соответствии с установленным ремонтным циклом и могут подразделяться на текущие, средние, капитальные и др.

Ремонты по состоянию оборудования выполняются с учетом состояния отдельных систем и частей оборудования. Применение систем мониторинга (АСУ ТП) позволяет оптимизировать процесс принятия решений о выводе оборудования в ремонт с учетом его состояния.

Реабилитация включает мероприятия, направленные на полное восстановление ресурса оборудования, изменение конструкции, улучшение его показателей, повышение надежности, снижение энергетических, материальных затрат и трудовых ресурсов при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте.

В зависимости от подхода к подготовке проведения работ по техническому

обслуживанию и ремонтам, можно выделить несколько моделей организации ТОиР. Основные из них:

- проведение работ по факту выхода оборудования из строя;
- проведение работ по фактической оценке состояния оборудования;
- проведение планово предупредительных ремонтов.

Первые два подхода имеют наименьшую общую эффективность и не позволяют осуществлять долгосрочное планирование средств на проведение ТОиР. Поэтому рассмотрим только основные их особенности.

1.4.1. Проведение работ по факту

Проведение работ по факту выхода оборудования из строя является наименее эффективной из всех вышеперечисленных моделей. При использовании данного подхода оборудование эксплуатируется до выхода его или одной из его составных частей из строя, и только потом осуществляется его ремонт. Как следствие такого подхода – нерациональный расход ресурсов оборудования и полное отсутствие возможности планирования средств на проведение ремонтов. Следует отметить, что данный подход может использоваться только в тех случаях, когда выход оборудования из строя не является критичным.

1.4.2. Проведение работ по фактической оценке состояния оборудования

Данная модель является наиболее эффективной с точки зрения расхода ресурсов оборудования, но требует значительно больше финансовых и временных затрат, к тому же данный подход не позволяет производить долгосрочное планирование – что тоже немаловажно. Эффективность данного подхода в значительной степени возрастает с использованием измерительных приборов, позволяющих быстро и качественно оценить состояние оборудования и его составных частей, однако на сегодняшний день большинство оборудования не оснащено такими из-

мерительными приборами, а его переоборудование требует значительных затрат, а в большинстве случаев вовсе невозможно.

1.4.3. Планово-предупредительные ремонты

На сегодняшний день данная модель является наиболее распространённой на сегодняшний день, поэтому рассмотрим её наиболее детально.

Системой планово-предупредительного ремонта оборудования (ППР) называют совокупность мероприятий, обеспечивающих планово-предупредительный характер выполняемых ремонтов, чередование и периодичность которых определяются назначением агрегата, его конструктивными и ремонтными особенностями, габаритами и условиями эксплуатации.

Ремонт, проводимый по этой системе, является плановым, так как он выполняется по заранее намеченному плану. Агрегат останавливают для ремонта, когда он еще находится в рабочем состоянии. Этот (плановый) принцип вывода оборудования в ремонт позволяет произвести необходимую подготовку к остановке агрегата как со стороны ремонтного персонала, так и со стороны производственного. Ремонтный персонал, готовясь к плановому ремонту, уточняет дефекты агрегата, подбирает и заготавливает запасные узлы и детали, которые следует сменить при ремонте, в том числе и покупные изделия (насосы, гидроаппаратуру, подшипники). Производственный аппарат изыскивает и осуществляет решения, обеспечивающие бесперебойный ход производства в период ремонта. Такая подготовка позволяет осуществлять полный объем ремонтных работ без нарушения нормальной работы предприятия (цеха, участка).

Система ремонта является предупредительной также потому, что направлена на предупреждение остановки агрегата вследствие износа его узлов и деталей. Оборудование, охваченное системой ППР, останавливается для ремонта принудительно, по заранее составленному графику. Ремонт, выполняемый в сроки, установленные графиком, и в объеме, предусмотренном при его составлении, должен

компенсировать износы, образовавшиеся вследствие работы агрегата в течение периода времени, предшествовавшего данному ремонту.

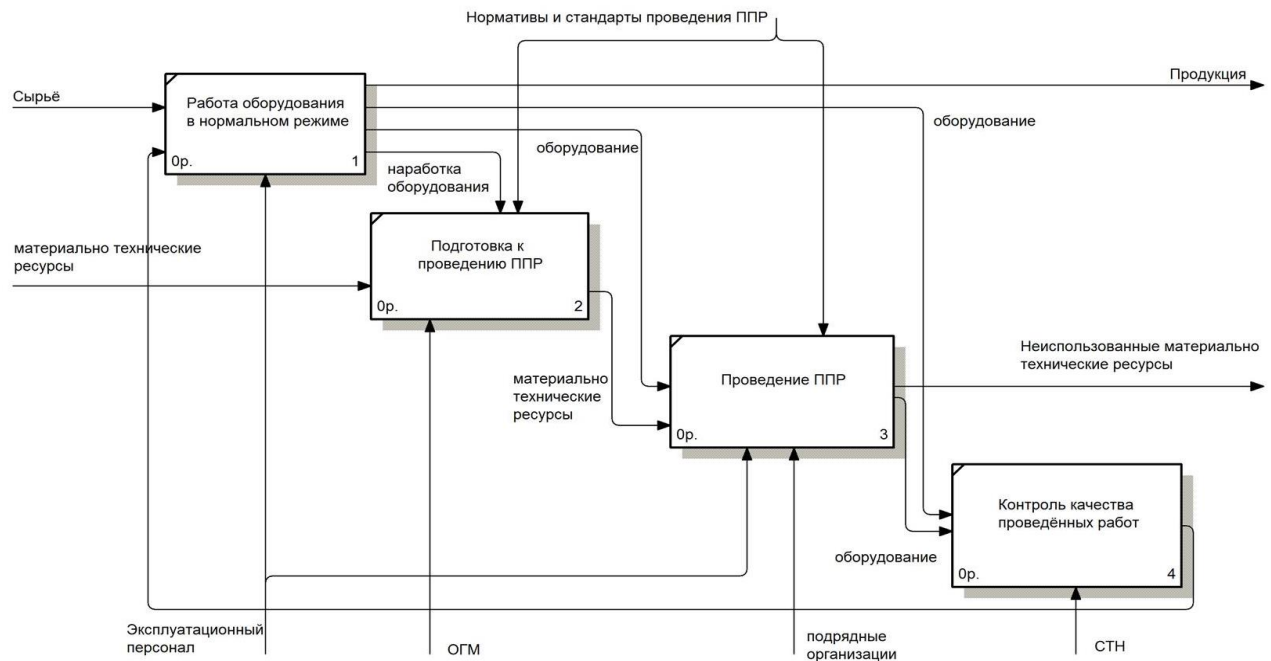


Рисунок 8 – Общая схема организации ТОиР при использовании ППР.

Достоинствами данной модели можно отметить:

- отсутствие необходимости в сложных математических вычислениях;
- отсутствие необходимости ведения учёта структуры оборудования предприятия;
- достаточно высокая эффективность, за счёт избыточности.

Но также имеется и достаточно большое количество недостатков:

- отсутствие возможности оценки состояния оборудования и его составных частей, не прибегая к осмотру;
- отсутствие возможности прогнозирования состояния оборудования;
- избыточность материалов на складе предприятия;
- нерациональное объединение работ;
- не отражает специфики оборудования и условий его использования.

Структура ремонтного цикла, а также состав и объёмы работ, в основном были разработаны специализированными институтами 20-30 лет назад. Основой для таких разработок являлись статистические данные, в соответствии с которы-

ми необходимость постановки оборудования в ремонт определялась выходом из строя 5% тестируемого оборудования [133].

Такой подход изначально имел два принципиальных недостатка:

- не учитывались фактические условия (качество сырья, технологические режимы) работы оборудования;
- в системе закладывался значительный «запас прочности».

Такие отклонения являются тем более критичными в условиях дефицита средств на техническое обслуживание и ремонт оборудования, поскольку не позволяют корректно определять приоритеты при выборе объектов и объемов работ.

Кроме того, за последние 10-15 лет многое что изменилось. Так на многих предприятиях были внедрены современные технологии и материалы, используемые при техническом обслуживании и ремонте оборудования. Это позволило существенно образом повысить надежность отдельных узлов и агрегатов и соответственно увеличить межремонтный пробег оборудования. Например, внедрение новых торцовых уплотнений позволило увеличить межремонтный пробег насосных агрегатов на 30% [133].

Не смотря на все недостатки, полный отказ от системы ППР невозможен по целому ряду причин, в том числе и по юридическим. В соответствие с нормативными документами, система ППР является основным инструментом по обеспечению надежной и безопасной эксплуатации оборудования. Например, на основании положения о проведении планово-предупредительного ремонта производственных зданий и сооружений [118], проведение ППР производственных зданий является обязательным.

Для каждого оборудования имеется перечень работ по его обслуживанию, предусмотренных регламентом предприятия или производителем оборудования. Каждой из этих работ соответствует наработка на проведение T – период проведения работы. Износ оборудования в данном методе характеризуется показателем текущей наработки $t_{\text{тек}}$ – которая отражает сколько времени оборудование находилось в процессе работы. Расчёт $t_{\text{тек}}$ может проводиться как по фактическим ча-

сам работы, так и по среднесуточной нагрузке на оборудование.

Если t_d – среднесуточное время работы оборудования, то количество рабочих дней через которое необходимо проводить работу будет равно T/t_d . Количество рабочих дней N до возникновения необходимости проведения работы по обслуживанию оборудования будет равно:

$$N = \frac{(T - (t_{\text{тек}} - t_{\text{раб}}))}{t_d}, \quad (6)$$

где $t_{\text{раб}}$ – наработка оборудования при которой была выполнена последняя подобная работа по обслуживанию оборудования.

Учитывая график работы оборудования предприятия, составляется общий план работ.

Планирование ресурсов производится одинаково для всех моделей планирования работ. Каждой работе соответствует список ресурсов и материалов, необходимых для её выполнения. На основе плана работ составляется план ресурсов (материалов). Для ресурсов и материалов, необходимых для проведения работ, немаловажным является фактор продолжительности их доставки, поэтому их заказ должен осуществляться заблаговременно. Дата заказа материалов D_z определяется из даты момента на который материалы должны быть использованы D_p (непосредственно дата проведения работы) и продолжительности доставки материалов $t_{\text{доставки}}$

$$D_z = D_p - t_{\text{доставки}}. \quad (7)$$

Как уже было сказано использование данного метода достаточно эффективно, но требует значительных неоправданных финансовых и временных затрат.

1.4.4. Последовательная модель организации процесса технического обслуживания и ремонтов оборудования

Основным недостатком применения модели ППР является отсутствие возможности реальной оценки текущего, и последующего изменения состояния обо-

рудования и его составных частей, не прибегая к физическому осмотру. Как следствие этого – работы по ремонту и обслуживанию закладываются с достаточно большим «запасом прочности», что в свою очередь приводит к нерациональному планированию материально технических ресурсов и финансовых средств предприятия. С учётом этого эффективность модели ППР можно в значительной степени повысить за счёт учёта фактических условий эксплуатации оборудования.

Одним из методов учёта фактических условий эксплуатации оборудования предприятия является моделирование процесса износа ресурсов оборудования на основе статистических данных. Данный метод, в отличие от оценки состояния оборудования путём его физического осмотра, не требует остановки производственного процесса, демонтажа оборудования, привлечения специализированного персонала, а также дополнительных финансовых и временных затрат. Моделирование процесса износа ресурсов оборудования, на основе статистических данных, осуществляется на базе математического аппарата теории надёжности и теории вероятности.

Для автоматизации процессов планирования работ по техническому обслуживанию необходимо иметь представление обо всей модели автоматизированного технического обслуживания и ремонтов оборудования. Данную модель можно рассматривать как совокупность взаимосвязанных моделей (Рисунок 9):

- прогнозирования состояния оборудования;
- диагностики состояния оборудования;
- планирования проведения работ;
- управления остановками оборудования;
- проведения работ над оборудованием;
- управления запусками оборудования.

В свою очередь проведение работ над оборудованием включает в себя: демонтаж оборудования, диагностику неисправности оборудования, устранение неисправности и сборку оборудования (Рисунок 10).

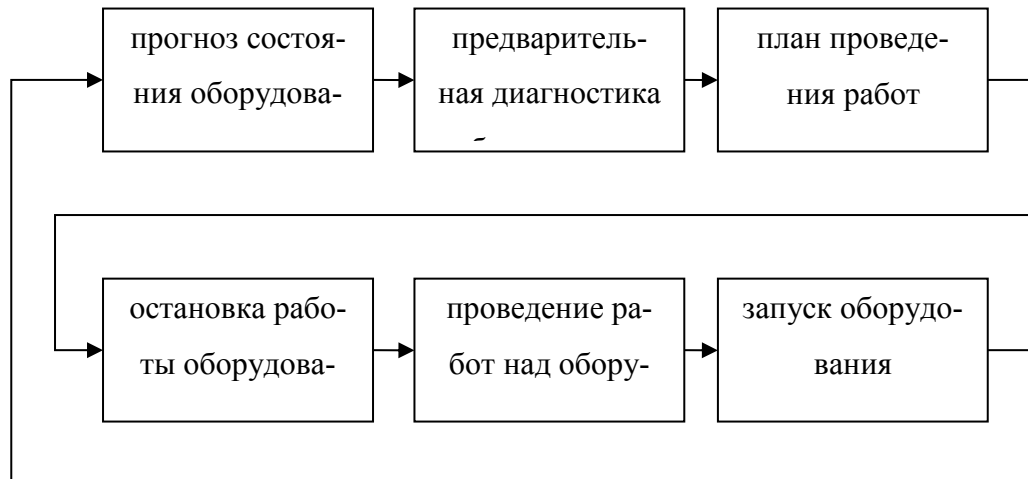


Рисунок 9 – Последовательная модель проведения ТОиР.

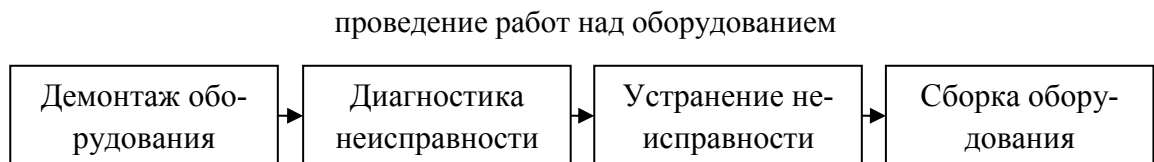


Рисунок 10 – Последовательность проведения работ над оборудованием.

1.4.5. Методология ТРМ для повышения эффективности предприятий и организаций

Обычно непосредственную эксплуатацию оборудования выполняют операторы, которые с ним работают, а обслуживание и ремонт – специализированные службы. При этом может возникать, по сути, парадоксальная ситуация, когда операторы не отвечают за работоспособность своего оборудования. О конфликте интересов и целей различных субъектов процесса ТОиР информация имеется в работе [80] и др.

Различные способы мотивации, а также технологии бережливого производства (в частности, самой сложной и многоплановой из систем – ТРМ, Total Productive Maintenance), позволяют заинтересовать оператора в обеспечении максимально эффективной работы вверенного ему оборудования. Методология ТРМ – это обслуживание оборудования, позволяющее обеспечить его наивысшую эф-

фективность на протяжении всего жизненного цикла с участием всего персонала [145].

Специалисты ассоциации «Японский институт производительного обслуживания» (JIPM), являющейся производителем методической литературы по ТРМ, выделяют в работе [140] следующие основные положения системы ТРМ:

- отдельные улучшения для повышения производительности оборудования и инженерных систем;
- самостоятельное обслуживание оборудования операторами;
- плановое техническое обслуживание оборудования;
- обучение и подготовка операторов и ремонтников;
- управление разработкой и внедрением нового оборудования и нового продукта;
- система обслуживания, ориентированная на качество;
- охрана труда и окружающей среды;
- система повышения эффективности в управленческих и обслуживающих подразделениях.

В силу того, что на пространстве, ранее называвшемся «СССР» и «Российская империя», исторически складывалось общинное хозяйствование, наш менталитет во многом схож с японским. Однако, чтобы «включить» его в сознании современного рабочих или специалистов для того, чтобы система ТРМ начала реально работать в наших предприятиях и организациях, необходимо проводить сложный комплекс работ по внедрению технологии ТРМ, учитывающий особенности, сложившиеся в сознании людей уже в новейшей истории, после распада СССР.

Рассмотрим характеристики и особенности методологии ТРМ. Согласно [140], цель ТРМ – создание такого предприятия, в принципы деятельности которого было бы заложено стремление к предельной эффективности производственной системы (общей эффективности). Согласно [120], цель ТРМ – создание предприятия, которое постоянно стремится к предельному и комплексному повыше-

нию эффективности производственной системы. Согласно [105], система ТРМ позволяет обеспечить наивысшую эффективность работы оборудования. В [120] отмечается, что целью ТРМ является создание предприятия, которое постоянно стремится к предельному и комплексному повышению эффективности производственной системы. Можно сделать вывод, что исследователи сходятся во мнении, что методология ТРМ призвана повысить эффективность производственной системы в целом.

Идеологи ТРМ из японского института JIPM также считают в [140], что целями ТРМ второго уровня также являются:

- создание механизма предотвращения любых потерь (например, ноль травматизма, ноль брака, ноль аварий и т.д.), объектом которого стал бы весь жизненный цикл производственной системы;
- внедрение системы производительного обслуживания в первую очередь на производстве, а затем в службе развития, коммерческой службе, административных подразделениях;
- вовлечение всего персонала компаний – от членов советов директоров до рядовых сотрудников;
- достижение «ноля потерь» командной работой малых групп всего предприятия.

Применительно к производству, в качестве определения ТРМ, которое по сути является задачами ТРМ, в [140] приводятся следующие тезисы:

- стремление к самым высоким показателям эффективности работы оборудования;
- формирование системы производительного технического обслуживания для всего жизненного цикла оборудования;
- развертывание общего производительного обслуживания оборудования в службах планирования, разработки нового оборудования, главного инженера, в производственных подразделениях и в других службах;
- в развертывании системы принимает участие весь персонал компаний – от

руководства до рядовых сотрудников;

- главное мотивационное средство – командная работа на низовых организационно-технологических участках, т.е. работа чалых групп.

В работе [120] отмечено, что достижение цели внедрения ТРМ – достичь предельной и комплексной эффективности производственной системы – связывают с получением максимально возможного результата (в отношении объема производства; качества продукции; себестоимости; сроков поставок; безопасности рабочих мест и инициативы персонала) при минимальном использовании ресурсов (человеческих, материальных, финансовых). Качественное улучшение состояния предприятия достигается при использовании ТРМ за счет согласованного изменения двух факторов. Первый — профессиональное развитие человека: операторы должны уметь самостоятельно производить ежедневное обслуживание оборудования, «работники поддержания» (механики и др.) — непрерывно поддерживать работоспособность высокотехнологичного оборудования, инженеры — проектировать оборудование, не требующее поддержания и ремонта. Второй — усовершенствование оборудования: повышение эффективности использования имеющегося оборудования за счет его непрерывного улучшения и проектирование нового оборудования с учетом полного жизненного цикла с последующим выводом его в кратчайшие сроки на полную проектную мощность. Таким образом, применение методологии ТРМ должно позволить повысить эффективность производственной системы за счет полной ликвидации всех потерь, препятствующих повышению эффективности как работы человека, так и использования оборудования.

В работе [96] в качестве преимуществ применения принципов управления качеством, отмечено, что к применяющим их предприятиям относятся такие характеристики, как:

- высокий уровень морали у всех служащих, признание общих моральных и этических ценностей и руководящих принципов;
- высшие менеджеры и служащие – одна семья, одна команда, форма работы

- групповая;
- новый стиль менеджмента, основанный на гуманистической философии, обеспечивающий высокую мотивацию и вовлеченность персонала;
- подход, основанный на знаниях, научном методе;
- ориентация на долговременный успех, видение будущего и правильное целеполагание;
- высокое качество продукции и услуг, непрерывное улучшение качества продукции, услуг, процессов, работы;
- качество как цель № 1, ведущая к снижению затрат, сокращению сроков, повышению производительности и, в итоге, - к победе над конкурентами;
- персонал как ценность № 1: его знания, творчество, приверженность интересам фирмы стоят больше, чем стоимость недвижимости и техники;
- непрерывное, пожизненное образование всего персонала;
- процессы циркулирования точной и достоверной информации, охватывающей всю компанию;
- системное, процессное и статистическое мышление менеджеров и служащих.

Подобные эффекты можно отнести и к предприятиям, применяющим методологию ТРМ. Согласно [36, 41, 71, 104 и 125], применение ТРМ позволяет также:

- повысить время работы оборудования;
- снизить затраты на ремонт оборудования и закупку запчастей;
- сократить затраты времени на переналадку лимитирующего оборудования;
- уменьшить аварийность и производственный травматизм.

В качестве ярких примеров достигнутых реальных эффектов в результате внедрения системы бережливого производства в компаниях за рубежом и в РФ по различным отраслям, согласно [125 и др.], можно указать следующие:

- сокращение производственного цикла в 4-9 раз (например, в авиапромышленности – с 16 месяцев до 16 недель, в приборостроении – с 9 дней до 1);
- экономия даже для одной компании свыше 1 млрд.\$ ежегодно (металлургии-

ческая компания Alcoa);

- рост производительности на 40% (Ярославский шинный завод);
- рост производительности ремонта на 50% (нефтедобывающее оборудование);
- высвобождение $\frac{1}{4}$ производственных площадей (судостроение).

Каковы же условия применения и алгоритм действий для внедрения методологии ТРМ в организации? Главным базисом построения ТРМ как программы действий в [32] считается следующий набор условий:

- операторы должны хорошо знать стандарт работы оборудования и проверять его работу каждую смену или каждый день.
- персонал технического обслуживания должен тесно сотрудничать с операторами, чтобы иметь возможность обучить их тому, что следует искать и к чему прислушиваться, чтобы обнаружить потенциальные проблемы на ранней стадии.
- планирование времени остановки оборудования для профилактического обслуживания, смазки, очистки и общего осмотра является основой, которую должно обеспечить руководство.

Конкретными методами достижения целей ТРМ могут служить:

- формализация и визуализация целей и задач, сведений о текущей производительности и состоянии оборудования;
- раннее обнаружение неисправностей, быстрое реагирование на возникновение проблем и поддержание нормального состояния оборудования для предотвращения поломок оборудования;
- обучение и вовлечение персонала в процесс внедрения ТРМ с разъяснением сотрудникам важности и выгод от внедрения ТРМ не только для компании в целом, но и для каждого сотрудника;
- организация взаимодействия операторов и ремонтников;
- применение методов повышения степени эффективности производства.

Для повышения степени эффективности использования оборудования пред-

приятия могут применяться математические методы оптимизации. В работе [120] отмечено, что в одном из подходов для оценки эффективности производственной системы в ТРМ используются не локальные показатели, а показатель общей эффективности, отражающий все виды потерь. В мировой практике применяется коэффициент полной эффективности оборудования (Overall Equipment Effectiveness, ООЕ) [23], который в общем случае является произведением коэффициента готовности оборудования на показатели производительности и качества.

На основе исследований [32, 45 и др.] можно предложить следующий алгоритм внедрения ТРМ:

1) подготовительная стадия:

- обоснование внедрения ТРМ, постановка четких целей, первоначальное обучение;
- формирование организационной структуры продвижения ТРМ;
- формирование генерального плана внедрения ТРМ.

2) организационная стадия:

- организация циркуляции информации по отказам оборудования;
- рационализация планирования мероприятий ремонтов и обслуживания оборудования и анализа их проведения;
- установление системы улучшений с участием каждого работника организации в обслуживании и эксплуатации оборудования, а также автономного обслуживания оборудования операторами с помощью «семи шагов».

3) институциональная (стандартизационная) стадия:

- стандартизация и регламентация всех этапов обслуживания оборудования: уборки, приема смены, мелкого ремонта, стандарт ТО на основе применения статистического технического обслуживания и т.п.;
- визуализация процедур (этапы ТО, чек-листы графиков обслуживания оборудования);
- обучение разработанным стандартам и их корректировка;
- мониторинг, анализ и совершенствование процесса выполнения стандартов,

процедур.

Несмотря на множество преимуществ от внедрения методологии ТРМ, многие исследователи отмечают, что ее внедрение требует затрат [120, 104, 41]. Мало поддерживать идеи ТРМ на словах, необходимо осваивать новые методы соблюдать дисциплину. Методология ТРМ не предполагает быстрых побед. Ее освоение требует усилий и времени, предполагает коренное изменение психологии работников предприятия. Однако, как показывает опыт организаций, внедривших у себя эту систему, подобные результаты и составляют сегодня одно из главных конкурентных преимуществ.

Таким образом, методология ТРМ – это система принципов обслуживания оборудования предприятий и организаций, позволяющая обеспечить его наивысшую эффективность на протяжении всего жизненного цикла с участием всего персонала, которая позволяет получить множество полезных эффектов от внедрения, что позволяет снизить затраты, повысить прибыль и конкурентоспособность. Полученный многими предприятиями и коллективами опыт внедрения ТРМ дает результаты в виде повышения не только эффективности работы оборудования, но и производства в целом, а позволяет производить дальнейшее совершенствование практики внедрения методологии. В качестве основного эффекта от внедрения системы ТРМ можно отметить самоорганизацию производства с целью повышения эффективности его функционирования (навыков и состава персонала, системы оборудования и вспомогательных систем и др.), вплоть до самовоспроизведения своих частей (необходимого оборудования внутри самого производства).

В результате проведенного анализа технологии ТРМ получены ряд решений по организации ТОиР ПрО, а также множество ключевых показателей качества.

1.5 Анализ основных проблем в области научной поддержки организации работ по ТОиР промышленного оборудования общего назначения

После распада СССР 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. Поэтому решение задачи обеспечения эффективной организации технического обслуживания и ремонтов (ТОиР) производственного оборудования имеет достаточно большое значение.

Рассматриваемая проблема заключается в том, что ранее в СССР существовали специализированные научные институты (ЭНИМС, ЭНИКМАШ, ВНИИЛИТМАШ, ВНИИДМАШ), занимающиеся научной организацией ТОиР, которые публиковали методические рекомендации по организации на предприятиях системы ТОиР и, в частности, планово-предупредительных ремонтов (ППР), а после его распада отсутствует системная организация работы ремонтных служб, и каждое предприятие вынуждено самостоятельно решать задачи организации ТОиР своего оборудования. Упомянутые институты под руководством ЭНИМС еще в 1986 г. подготовили редакцию типовой системы ТОиР металло– и деревообрабатывающего оборудования [67].

По нашему мнению, в настоящее время имеется недостаточное количество публикаций и научных работ, посвященных обеспечению научной поддержки организации работ по ТОиР. Известно множество исследований по обеспечению надежности машин и систем, и гораздо меньше – публикаций по научной организации ТОиР. Исключением является наличие ряда работ по организации работы служб ТОиР металлургической отрасли [154] и публикаций по организации ТОиР горного оборудования.

В СССР была принята серия стандартов по системе технического обслуживания и ремонта техники (ГОСТ 18322–78, ГОСТ 21623–76, ГОСТ 23660–79 и ГОСТ 28.001–83). В 1999 г. в России был принят Межгосударственный стандарт ГОСТ 15.601–98 «Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое обслуживание и ремонт техники. Основные положения», который не регламентирует непосредственно саму организацию и проведение процессов, ра-

бот и процедур ТОиР. Многие предприятия все еще пользуются методологическим наследием минувшей эпохи, но в современных условиях многие положения советской системы ТОиР просто неприменимы по разным причинам (коммерциализация и рыночные условия, сокращение финансирования и отсутствие необходимых мощностей и объемов капитальных затрат, не позволяющие выполнять весь комплекс ППР в полном объеме). В работе [75] приведена структура методики автоматизации ремонтных работ предприятия, которая позволяет создать не только методологическую базу для работ ТОиР, но и автоматизировать соответствующие процессы. В работе [145] с системных позиций приводятся схемы управления развитием сложных систем с учетом их состояния, поддерживаемого выполнением экономически обоснованных работ ТОиР.

Основные проблемные области научной поддержки организации работ по ТОиР представляются следующим образом:

- организация управления службами ТОиР предприятия, а также автономным ремонтно-сервисным предприятием (задачи управления предприятием или подразделением, организации работ, оценки и повышения эффективности работы служб ТОиР, контроля работ, составления производственной программы);
- использование рациональных стратегий ТОиР, минимизирующих затраты (аварийные ремонты, а также ремонты по наработке и по фактическому состоянию);
- контроль технического состояния, диагностика (в т.ч. неразрушающий контроль и вибродиагностика) и прогнозирование отказов оборудования;
- научно-методическая поддержка планирования работ по ремонту и техническому обслуживанию (в т.ч. планирование последовательности обслуживания и ремонта оборудования, определение момента вывода оборудования в ремонт, обеспечение ресурсами работ по ТОиР);
- оптимизация складских запасов запасных частей и материалов для проведения ТОиР.

Многие из выделенных задач имеют решение, применимое при поддержке служб ТОиР, но не все из них решены в полной мере, и для повышения конкурентоспособности предприятия необходимо уделить им особое внимание. Эффективное решение достигается при применении системного подхода в сопровождении подчас и синергетического эффекта.

Анализ возможных положительных изменений и динамики основных показателей эффективности системы ТОиР после внедрения средств автоматизации ТОиР приводился в [81]. Применение научно обоснованной организации ТОиР является источником следующих основных эффектов:

- уменьшение числа отказов и простоев;
- увеличение срока службы обслуживаемых систем;
- сокращение затрат на эксплуатацию;
- повышение производительности оборудования.

1.6 Анализ существующих решений в области автоматизации ТОиР

Рассмотрим какие эффекты может дать автоматизация ТОиР. По оценкам специалистов [35] внедрение на предприятии системы поддержки проведения технического обслуживания и ремонтов оборудования может позволить:

- путем создания единой БД используемого оборудования и инструментов, увеличить количество детально описанного оборудования с 25-40% до 90-95%;
- за счет лучшего планирования работ, использования архивных данных при подготовке задания на работы сократить общие трудозатраты на 25-30%;
- за счет лучшей организации совместной работы операционного и ремонтного персонала сократить время внеплановых простоев на 50%;
- достичь перехода от планово-предупредительной системы ремонта к ремонтам по состоянию (предиктивным), что позволит сократить затраты на ремонт и техническое обслуживание до 50%, сократить запасы ремонтных ма-

териалов и повысить рентабельность производства;

- исключить простои ремонтного персонала и оборудования из-за несогласованности ремонтных и производственных планов;
- сократить объем работ выполняемый подрядными организациями;
- повысить достоверность информации при планировании работ за счет предоставления руководителям среднего звена возможности принимать участие в редактировании планов;
- уменьшить время на выполнение рутинных процедур (ввод данных, поиск необходимой информации, составление отчетов и данных для анализа) в 10 раз.

Рассмотрим, что же из себя представляет система ТОиР, в особенности на отечественных предприятиях. На большинстве промышленных предприятий в России принята форма ППР. Основной принцип этой системы заключается в производстве работ по ТОиР заблаговременно до наступления вероятного отказа оборудования, основываясь на среднестатистической вероятности отказов аналогичного оборудования. Если система ППР настроена правильно, то:

- внеплановый объем работ, вызванный чрезвычайными ситуациями, не превышает 5–10% от общего объема работ;
- около 25% всех ППР проводятся без фактической необходимости, т.е. на исправно работающих агрегатах.

Так же значительная часть предприятий в России, учитывая свои особенности, в различной степени перешла к ремонтам по факту. Данный подход не требует значительных запасов материалов необходимых для проведения работ по ТОиР. Не смотря на значительное снижение затраты на обслуживание оборудования на первых этапах, у данного подхода больше недостатков чем достоинств. После непродолжительного снижения затрат, они резко возрастают в связи с ускорением износа оборудования и возможными простоями производственного процесса на подготовку к ремонтам. К такой ситуации на отечественных предприятиях чаще всего приводит отсутствие контроля за ведением статистики проведения работ по

ТОиР.

В современной практике управления системой ТОиР существуют более прогрессивные формы управления — обслуживание по фактическому состоянию (ОФС) и проактивное обслуживание (ПАО). Данные формы ТОиР более рентабельны и значительно сокращают затраты на обслуживание оборудования, однако требуют четко спланированных этапов перехода.

Отечественная наука с 60-х годов развивает несколько направлений, нацеленных на управление обслуживанием и ремонтами техники. Эти направления связаны с надежностью оборудования и элементов, диагностированием, прогнозированием технического состояния, технологиями ремонта, организации работ, разработкой новых материалов. Такие разработки велись на базе теорий надежности, информации, сложных систем, систем массового обслуживания, и т.д. Объединим такие методологии, практики, подходы и алгоритмы под общим понятием «методики ТОиР», вкладывая в этот термин следующий смысл: «научно обоснованные методы, алгоритмы, технологии управления процессом ТОиР, зарекомендовавшие себя на практике».

Разработанные научные методы управления техобслуживанием и ремонтом имеют четко выраженные отраслевые реализации. Это обусловлено, с одной стороны, объективным различием техники в зависимости от отраслевой принадлежности, условий применения, специфики организации эксплуатации, требований к безопасности. С другой стороны, сложившаяся в предыдущий период система управления не позволяла передовые достижения, сделанные в какой-либо одной отрасли, распространить на другие и там также найти им эффективное применение. Можно назвать несколько таких кластеров: авиация, морской транспорт и флот, железная дорога, металлургия, обычная и атомная энергетика, горнорудная промышленность.

Сегодня препятствием для распространения методов ТОиР является наличие в рамках одной отрасли нескольких финансово-промышленных групп и вертикально интегрированных холдингов, что еще больше структурирует знания.

Существующие в настоящее время информационные технологии и программные продукты позволяют многие из таких методик успешно применять на практике. Кроме того, наработанные в одной отрасли методы управления и алгоритмы можно распространять на другие отрасли, предприятия, оборудование. Это обстоятельство и обуславливает практическую ценность информатизации управления ТОиР для промышленности.

Все крупные разработчики ИС ТОиР и консультанты в этой области говорят о необходимости применения методик ТОиР как об одном из условий получения эффекта от внедрения их системы. Действительно, простая автоматизация учетных функций и планирование работ не дают ощутимого эффекта.

Как правило, работы по применению методик ТОиР идут в рамках общего проекта по реорганизации системы управления предприятием. И это совершенно правильный подход, позволяющий получить синергетический эффект. В редких случаях удастся результативно провести внедрение методик ТОиР в рамках существующей системы. Иногда реализовывать методики ТОиР проще после завершения проекта по реорганизации предприятия, когда уже осуществлена модернизация бизнес-процессов и организационная реструктуризация, создана необходимая информационная база для внедрения методик и определены критерии эффективности предприятия.

В ходе работы был рассмотрен целый ряд программных продуктов, нацеленных на автоматизацию процесса технического обслуживания и ремонтов оборудования. Были рассмотрены нижеследующие системы.

1.6.1. Анализ существующих систем автоматизации ТОиР

Global-EAM. Программный комплекс управления ремонтами и техническим обслуживанием оборудования предприятия Global EAM (ТОиР) является отечественным программным продуктом, разрабатываемым Компанией «Бизнес Технологии» для информационного обеспечения работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования.

живанию и ремонту оборудования. Область применения системы – предприятия промышленности, энергетики, транспорта, а также любые предприятия и организации, в которых требуется автоматизировать функции технического учета оборудования, хранения технической документации, планирования процессов эксплуатации и ремонта.

Функциональность Global EAM:

- автоматизация планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования, а также управление процессом выполнения этих работ;
- обеспечение административного, оперативного и ремонтного персонала оперативной и ретроспективной информацией, необходимой для принятия решений при проведении работ по ТО и ремонту оборудования;
- накопление полученных от специалистов сведений об оборудовании, его истории и особенностях его эксплуатации, а также систематизация, наглядное представление и централизованное хранения таких сведений;
- автоматизация получения аналитических отчетов и типовых документов по принятым формам;
- хранение и предоставления данных с целью оценки и прогноза технического состояния оборудования;
- накопление информационной базы, содержащей сведения об оборудовании и его истории, с целью последующего перехода к ремонтам оборудования с учетом его состояния.

Система Globa-EAM имеет полностью открытый код, который можно модифицировать, используя систему конфигурирования Global FrameWork for Oracle, поставляемую с системой. Это означает возможность внесения необходимых проектных изменений и осуществление доработок в системе в отрыве от ее разработчика, в том числе и собственными силами. Внесение модификаций не означает их потерю при обновлениях версий системы со стороны разработчика, т.к. система Global поддерживает разработку на изолированных уровнях. Проект-

ный уровень и его модификации будут переопределять код, модифицируемый разработчиком системы Global.

Система Global-EAM охватывает все бизнес-процессы, связанные с информационным обеспечением работ по техническому обслуживанию и ремонтами оборудования. Global-EAM предлагает пользователю весь спектр инструментов, необходимых для ввода первичной информации и просмотра информации, хранящейся в базе данных, в различных разрезах – таблицы, графики, диаграммы и т.д. Пользователь может просмотреть не только регламентируемые отчеты, но и построить произвольные, вид и структуру которых он определяет сам.

Решение может эксплуатироваться в системе распределенных серверов с регламентированным обменом данных при помощи модуля Global-Replication. Каждый уровень может быть ответственен за свой участок ввода, анализа и обработки информации. На каждый уровень с других может передаваться только необходимая информация, определенная концепцией эксплуатации системы.

Система автоматически контролирует дублирование данных и проверяет информацию для устранения противоречивости. При одновременном вводе данных на нескольких площадках предусмотрены механизмы разрешения конфликтов. Система позволяет хранить все изменения тарифных планов, настроек справочников, схемы энергопотребления, договорных отношений и величин. При необходимости на любые типы объектов системы может быть включен аудит. Решение может быть интегрировано в современную комплексную корпоративную учетную ERP-систему “Global”, однако функционально закончено и может эксплуатироваться отдельно, само по себе. К недостаткам системы можно отнести достаточно высокую стоимость системы.

В активе компании находится большое количество удачно реализованных проектов в различных отраслях экономики. В клиентскую базу компании “Бизнес Технологии” входят ведущие промышленные предприятия, предприятия электроэнергетики и атомной энергетики, строительные и торговые компании.

Внедрено в следующие предприятия: Удмуртэнерго, Каустик, Пласткард,

Тэтра электрик, Корона.

IFS-ТОиР. Начиная с 1983 года IFS развивает свои ИТ-решения для управления основными фондами предприятия (EAM). Разрабатываемая IFS система IFS Applications состоит из более чем 70 компонентов – для управления фактически всеми возможными бизнес-процессами. Часть из этих компонентов решает задачи управления основными фондами.

Функциональность системы IFS:

- планирование ремонтов: Решение IFS ТОиР включает в себя графические средства планирования. Помимо функциональных инструментов для планирования работ и ресурсов, они содержат набор графических средств для обзора и анализа информации в удобном представлении;
- учет оборудования: Решение IFS ТОиР базируется на модуле «Регистр оборудования», который содержит всестороннее описание каждой единицы производственного оборудования;
- управление складом: Оптимизация складского запаса, контроль наличия необходимых запчастей и прогнозирование грядущих потребностей, управление номенклатурой уровня запасов, комплектующих и сопутствующих материалов;
- выполнение работ: Решение IFS ТОиР поддерживает все виды технического обслуживания – осмотры, сервисное и гарантийное обслуживание, профилактические ремонты;
- контроль выполнения работ: По мере выполнения ремонтных работ фиксируется детализированная фактическая информация о самих работах, используемых материалах и инструментах, сроках выполнения и причинах отказа (в случае аварийных ремонтов);
- финансовый учет: Затраты на подготовку и проведение ремонтных работ по всем использованным ресурсам учитываются в денежном выражении;
- статистика и анализ: Ведется учет затрат на плановое обслуживание и на аварийные ремонты как по единицам, так и по группам оборудования. На

основе накопленной информации система готовит отчет о распределении затрат по годам эксплуатации;

Интеграция с другими системами: геоинформационные системы, АСУТП/SCADA в соответствии со стандартами OPC, MIMOSA и др., внешние системы управления, ERP-системами. IFS предоставляет также полнофункциональное и полностью интегрированное решение для управления ресурсами предприятия. IFS – система, развившаяся из инженерно/производственной среды, а не из потребностей, например, финансовых служб.

Недостатки системы – высокая стоимость.

Среди множества компаний, которые используют систему IFS Application – Siemens TS, Absolut, Pepsi Shanghai, Neste Oil, Новокузнецкий водоканал, ГЭС «Три ущелья», Нарвские электростанции, ЦБК группы SCA, аэропорт Осло и другие компании.

Ремонт-Эксперт. «Ремонт-Эксперт» разработан на базе самой популярной в России платформе 1С, знакомой широкому классу ИТ-специалистов. Поэтому «Ремонт-Эксперт» - это самое гибкое решение в нашей стране, доступное для обслуживания на любом предприятии. Команда «Ремонт-Эксперт» работает в составе группы «Деснол Софт» совместно с 1999г. С 2005г специализируется на автоматизации управления ремонтами и смежными с этими областями. Стоимость системы была в размере 97000 руб. за лицензию на 10 пользователей; дополнительная лицензия на 10 пользователей – 78000; дополнительная лицензия на 30 пользователей – 198000р.

Функциональность:

- ведение справочной информации: Система позволяет вести структуру фондов предприятия в виде дерева, начиная от самого предприятия, участка, цеха, установки, оборудования и узла. Такой вид представления обеспечивает максимальную наглядность всей структуры активов предприятия и удобный вид работы с системой;
- паспортизация оборудования: Паспорт оборудования в системе содержит

всю необходимую информацию, включая возможность визуализации технической документации;

- формирование графика ремонтов: График ремонта формируется на основании заданного ремонтного цикла, как по единице оборудования, так и по установке, участку, или всему предприятию;
- ведение нарядов на работы: Все работы ремонтной службы выполняются по нарядам на работы. Наряды формируются автоматически, вместе со всей необходимой документацией для ремонта. Система позволяет отследить выполнение работ по нарядам, учесть выполнение части работ. Пакет документов включает все заявки на материалы, что увеличивает эффективность управления;
- формирование графика проверок: График проверок метрологического оборудования, так же, как и график ремонтов, может строиться на год или на месяц. Отличительная особенность графика проверок - он строится по оборудованию, закрепленному за службой главного метролога;
- формирование бюджета: По заданной информации о планово - предупредительных ремонтах и стоимости ресурсов необходимых для проведения этих ремонтов, система автоматически рассчитывает годовой бюджет. На основании месячного графика ППР рассчитывается месячный бюджет. Месячный бюджет на ремонтные работы может корректироваться с учетом реальной наработки оборудования и заявок на проведение аварийных ремонтов;
- формирование потребности в МТО: Система сама формирует отчет по потребности в МТО на год, плановый график. А также на каждый месяц, с возможной корректировкой;
- оптимизация затрат на ремонты: При составлении графика ремонтов, система автоматически минимизирует время простоя оборудования для комплексов оборудования, чем сокращает затраты от потерь времени. За счет легкости проведения анализа по стоимости владения оборудованием (закупочная цена, стоимость обслуживания и простоев), можно выбрать опти-

мальное оборудование при закупке. Потребность в материалах формируется более точно, с указанием графика потребления, что значительно уменьшает складские запасы;

- документооборот: Система ведет полный документооборот по ремонтам, основные документы;

Для управления системой необходима установленная версия 1С «Предприятие» 8.x.

Достоинства системы – возможность интеграции с 1С 8.0; возможность изменения программы в случае необходимости без вызова разработчиков системы, а программистами 1С, что значительно упрощает и удешевляет задачу; дешевизна по сравнению с другими аналогами; простота во внедрении системы: зачастую не требуются специалисты разработчика;

Недостатки системы – относительная простота системы; не учитываются некоторые функциональные особенности процесса технического обслуживания и ремонта оборудования на предприятии (например, прогнозирование поломок).

Ремонт-Эксперт получила внедрение в: «Ю-Тверь», сети автозаправок в Тверской области; Отраденском газоперерабатывающем заводе; МГИМО.

АСУ РТО. АСУ РТО – это информационная система, предназначенная для автоматизации управления техобслуживанием и ремонтами оборудования предприятий. АСУ РТО принадлежит к новому поколению систем CMMS/EAM-классов и объединяет необходимую функциональность с детальным соответствием условиям СНГ.

Система АСУ РТО была спроектирована и разработана с участием специалистов, ранее работавших в ХИКА (Харьковский институт комплексной автоматизации, бывший филиал всесоюзного ЦНИИКА). Функциональность:

- создание баз данных, содержащих информацию об оборудовании предприятия, его технических, технологических и ремонтных характеристиках (паспортизация оборудования);
- создание баз данных нормативной ремонтной документации (нормы време-

ни, технико-экономические нормативы и др.);

- создание баз данных графической технологической и конструкторской документации (технологические схемы, чертежи и др.);
- планирование ремонтных работ и технического обслуживания;
- контроль состояния оборудования предприятия, регистрация отказов и дефектов оборудования, контроль их устранения и анализ причин возникновения и развития;
- поддержка выполнения функций различных видов ремонта и технического обслуживания оборудования;
- определение потребностей в материальных ресурсах на ремонты, анализ и контроль их использования;
- формирование архивов ремонтов и отказов оборудования.

Работает на бесплатной СУБД Oracle Database 10g Express Edition (Oracle Database XE). Наличие ГИС-модуля (ГИС – технология геоинформационных систем) позволяет АСУ РТО эффективно работать с территориально распределенными объектами. Благодаря ГИС пользователь не только видит, где и какой объект находится на местности (на карте), какое оборудование на нем установлены, каковы его характеристики, текущее состояние и т.д., но и может выполнять целый ряд операций по поиску и сортировке объектов, перемещению оборудования и т.д.

Для повышения эффективности планирования работ по ТОиР система АСУ РТО может быть интегрирована с системами календарно-сетевого планирования Microsoft Project или Primavera. Это позволяет выполнять тонкую доводку графиков работ и планов использования ресурсов в процессе выполнения ТОиР.

Данная система получила внедрение на: Киевской ТЭЦ-5, Трипольской ТЭС, Змиевской ТЭС, Угледорской ТЭС.

Maximo Enterprise Suite. Maximo Enterprise Suite — система управления фондами и активами предприятия. Решение предназначено для комплексного управления основными фондами предприятия, ключевой функцией которого яв-

ляется эффективное управление затратами на эксплуатацию оборудования в течение всего жизненного цикла. Функциональность:

- управление активами: функции, необходимые для тщательного отслеживания и эффективного управления данными о корпоративных активах на протяжении всего их жизненного цикла;
- управление обслуживанием: управление работами по плановому и внеплановому обслуживанию активов – от генерации заявок и нарядов на проведение работ до регистрации фактически осуществленных мероприятий;
- управление сервисами: функциональные возможности управления ИТ-сервисами через программную систему IBM Tivoli® Service Desk, а также обеспечение согласования приоритетов и задач управления с точки зрения наилучшей поддержки стратегических бизнес-целей;
- управление контрактами: поддерживает управление контрактами на покупку, договорами аренды, договорами лизинга, гарантийными контрактами, трудовыми договорами, мастер-контрактами (профсоюзными договорами, которые распространяются на нескольких работодателей данной отрасли), а также специфическими видами контрактов, определяемыми пользователем;
- управление материальными запасами: доступ к полной и достоверной информации о связанных с активами материальных запасах и их использовании; фиксирует все изменения, относящиеся к материальным запасам, позволяя контролировать эти изменения в реальном времени и генерировать соответствующие отчеты;
- управление снабжением: поддержка всех операций снабжения в масштабах предприятия, включая прямые закупки и пополнение товарно-материальных запасов;

Maximo сочетает возможности управления активами и сервисами, и тем самым упрощает управление активами предприятия и значительно повышает его эффективность. Графическая навигационная система, построенная на Web-технологиях, обеспечивает мгновенный доступ к детализированным иллюстраци-

ям, чертежам и схемам оборудования, комплектующих и запчастей, а также сопутствующей документации. Интуитивно понятные ассоциативные связи между элементами активов и местами их размещения позволяют с легкостью ориентироваться в информации об активах, быстро находить нужные ресурсы и использовать их в рабочих процессах, повышая, тем самым, общую производительность и улучшая управляемость активами.

Данная система получила внедрение на: Воткинской ГЭС, Волжской ГЭС, ТГК-1, Северском трубном заводе, Светогорском ЦБК.

TRIM. Начав в 1992 году с проектов внедрения системы управления техобслуживанием и ремонтом AMOS (Норвегия), разработчики пришли к созданию программного комплекса TRIM, в котором реализовали международные практики управления основными фондами и функциональность системы класса EAM (EAM - Enterprise Asset Management). Стоимость одного рабочего места TRIM-PMS составляла 18 290 рублей (с учетом НДС). Функциональность:

- описание и ведение структуры основных производственных фондов;
- создание и использование справочника запасных частей и материалов;
- ведение каталога запчастей с навигацией по их изображениям на чертежах;
- планирование работ по техническому обслуживанию и ремонтам;
- формирование ремонтных ведомостей;
- планирование затрат по людским ресурсам, сторонним организациям, требуемым запчастям и материалам;
- учет остатков складских запасов;
- заказ запасных частей для работ;
- формирование заявки на закупку запасных частей и материалов;
- оформление прихода/расхода товаров;
- ведение журнала выполненных работ;
- списание запасных частей, использованных при выполнении работ;
- формирование актов инвентаризации и списания;
- учет наработки оборудования по счетчикам;

- регистрация текущих значений технических параметров;
- учет состояний работоспособности оборудования;
- анализ затрат (план/факт);
- анализ отказов, их видов и последствий;
- ведение технической документации.

Для работы программы необходимо установленное ПО Microsoft SQL Server 2000 Desktop Engine (MSDE) и т.п. Модульная структура системы: покупатель выбирает только нужные ему модули. Клиент-серверная архитектура повышает гибкость и безопасность системы. Возможность размещения базы данных на нескольких компьютерах, что позволяет распределить нагрузку сервера.

Данная система получила внедрение на: Апатит; Смоленской АЭС; Юнг-Энергонефть; Русские краски; Энергонефть-Самара.

1.6.2. Подходы к программной реализации поддержки ТОиР

Необходимо отметить, что в большинстве из рассмотренных информационных систем, кроме базового функционала по учету и планированию, реализованы те или иные методики ТОиР. Немаловажным фактом является то, что наиболее развитые из существующих на сегодняшний день программных продуктов в данной области относятся к западным системам, в которых практикуются западные подходы к составу и реализации методик. Для приближения их возможностей к требованиям российского заказчика необходимо выполнить доработку ПО.

Здесь приходится столкнуться с рядом проблем. Во-первых, большинство разработчиков систем ТОиР не берутся за реализацию методик ТОиР в рамках приемлемого для заказчика бюджета. Реализация методик ТОиР в информационной системе – дело требующее значительных финансовых и временных затрат, так как это требует качественной проработки алгоритма, реализации и отладки его в ПО, а также гарантий того, что эта разработка будет потом востребована другими клиентами. В результате многие программные продукты получили ти-

раженность в рамках какой-либо одной отрасли, где востребованность методик ТОиР была достаточно высока.

Вторая проблема связана со спецификой реализации методик в ТОиР. Зачастую они предполагают определенные допущения в модели оборудования, предприятия, пользователей. Такая идеализация на практике приводит к тому, что модель выдает неадекватные результаты, что дискредитирует сам подход. Например, анализ и прогнозирование надежности основывается на статистике дефектов и отказов. Неполный или несвоевременный сбор данных приводит к результатам, не соответствующим практике. По этой причине многие методики ТОиР, основанные на статистике, перестали применяться, и к ним укоренилось настороженное отношение специалистов.

Возможны несколько подходов реализации методик ТОиР:

- в существующей или внедряемой ERP-системе;
- использование EAM-системы, интегрированной в корпоративную ИС;
- использование CMMS-системы.

Рассмотрим более подробно каждое из этих решений.

ERP. ERP-система (англ. Enterprise Resource Planning System — Система планирования ресурсов предприятия) — корпоративная информационная система, предназначенная для автоматизации учёта и управления. Как правило, такие системы строятся по модульному принципу, и в той или иной степени охватывают все ключевые процессы деятельности компании.

ERP-системы - это один из наиболее близких к идеалу ответов сегодняшнего рынка. ERP-системы обеспечивают комплексную автоматизацию управления предприятием. Важнейшими особенностями ERP-систем являются следующие:

- охват практически всех видов деятельности, всех бизнес-процессов предприятия, управление всеми ресурсами;
- построение от "нужд производства". Т.е. первичным для ERP-систем является оптимизация производственных процессов, повышение эффективности производственной деятельности. Автоматизация таких участков, как бух-

галтерский учет, - вторична. При этом необходимая бухгалтерская отчетность может формироваться в разных модулях системы;

- возможность управлять не только отдельным предприятием, но и корпорациями, холдингами, объединениями;
- наличие в последних версиях полноценного доступа ко всем функциям через Интернет, присутствие подсистем управления цепочками поставок (SCM), управления отношениями с клиентами (CRM) и др.

Но есть одна особенность о которой нельзя не сказать: по оценкам экспертов для того чтобы создать систему класса ERP - Enterprise Resource Planning (планирование всех ресурсов предприятия - и эффективное управление ими) - необходимы затраты до 600-700 человеко-лет и сотни миллионов долларов США.

Согласно [3], в настоящее время в России ведущими отраслями по внедрению систем такого класса являются торговля, машиностроение/приборостроение, строительство, металлургия и фармацевтика/медицина (см. Рисунок 11).

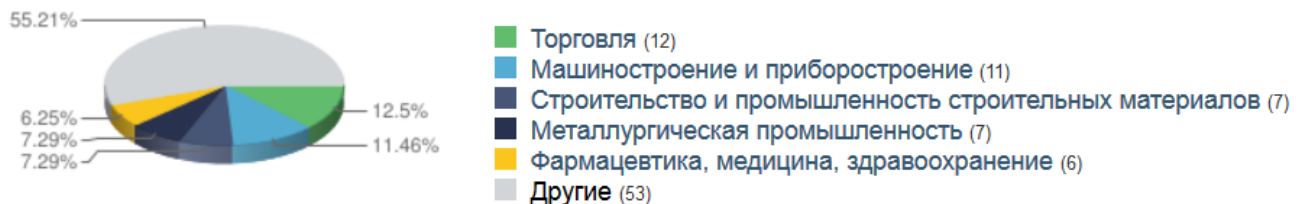


Рисунок 11 – Отраслевое распределение по количеству проектов внедрений ERP-систем за 2019г.

ЕАМ. ЕАМ-система – англ. Enterprise Asset Management, система управления основными фондами. Позволяет сократить простои оборудования, затраты на техобслуживание, ремонты и материально-техническое снабжение.

ЕАМ-системы позволяют согласованно управлять следующими процессами:

- техническое обслуживание и ремонт (ТОиР);
- материально-техническое снабжение (МТС);
- управление складскими запасами (запчасти для ТОиР);
- управление финансами (в области ТОиР и МТС);

- управление персоналом (в области ТОиР и МТС);
- управление документами (в области ТОиР и МТС).

Исторически ЕАМ-системы возникли из CMMS-систем — систем управления ремонтами. В настоящее время модули ЕАМ входят также в состав крупных пакетов управленческого программного обеспечения — ERP-систем.

На Западе, где конкуренция жестче и необходимость снижать издержки очевидна, ЕАМ-системы – неперенный инструмент работы предприятий фондоемких отраслей (энергетики, ЖКХ, промышленности с процессным типом производства, транспорта, добывающей промышленности и вооруженных сил). Россия в этом плане пока отстает — несмотря на территорию, большое количество станков и единиц транспорта, известно несколько десятков проектов по внедрению ЕАМ-систем в год. Согласно [131], в настоящее время в России ведущими отраслями по внедрению систем такого класса являются Химическая промышленность, энергетика, металлургия, машиностроение/приборостроение и нефтяная промышленность (см. Рисунок 12).

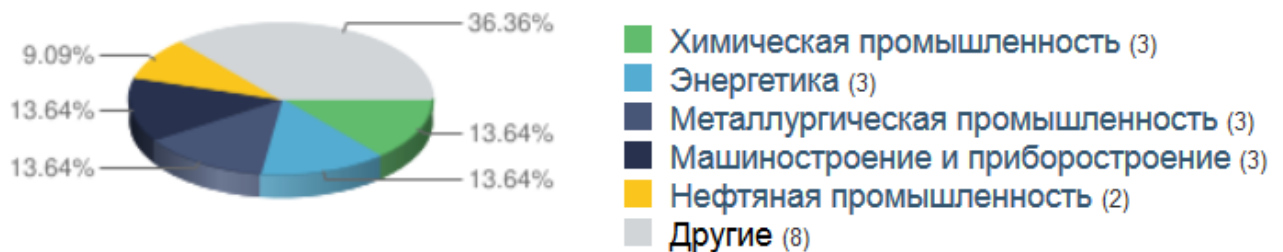


Рисунок 12 – Отраслевое распределение по количеству проектов внедрений ЕАМ-систем за 2019г.

CMMS. CMMS — Компьютеризированная Система Управления Техническим Обслуживанием (англ. Computerized Maintenance Management System) — комплекс программного обеспечения, включающий базу данных оборудования предприятия, модули планирования проведения технического обслуживания и планово-предупредительного ремонта, оформления заявок на проведение ремонта, модули складского учета и заявок на покупку материалов, финансового учёта.

Развитые системы CMMS как правило поддерживают строгую иерархиче-

скую систему пользователей, когда каждый из работников компании имеет доступ только к тем модулям, которые непосредственно необходимы в работе. В пределах каждого модуля пользователь имеет права на действия в соответствии с его профайлом. Так скажем рабочий может видеть только заявки на проведение обслуживания того или иного оборудования, мастер помимо этого может заказать требуемый инструмент и материалы, плановик - изменить график техобслуживания и так далее.

Одно из главных достоинств систем CMMS – в развитой логистической составляющей. Система автоматически отрабатывает заявки на запасные части, расходные материалы или оборудование, которое должно быть заменено или использовано согласно графикам обслуживания, резервирует их на складе либо выдает сигнал на необходимость их закупки. При этом постоянно ведётся подстройка минимально-максимального уровня наличия на складе оборудования и материалов, который бы позволил грамотно распределить оборотные средства, не омертвляя их на складе, но и не допуская простоев из-за ожидания поставки требуемых материалов.

Системы класса CMMS поддерживают следующие функции:

- структуру и иерархию базы данных оборудования (основных фондов);
- данные о необходимых запчастях;
- данные о ремонтном персонале;
- составление заявок на закупку запчастей;
- календарное планирование технического обслуживания и ремонтов;
- сбор и хранение данных о затратах;
- сбор и хранение данных о случившихся событиях (поломках, авариях);
- стандартные и расширенные отчеты о ремонтах и обслуживании.

CMMS – системы рассчитаны на автоматизацию управления бизнес-процессами строго в рамках планово-предупредительного обслуживания и ремонтов. Системы EAM являются дальнейшим развитием систем управления ТОиР и поддерживают все функции CMMS систем. Основные дополнительные возмож-

ности ЕАМ-систем:

- обработка данных о полном жизненном цикле работы оборудования;
- поддержка структуры управления (администрирования) ремонтной деятельности;
- предиктивный анализ ТОиР;
- альтернативный анализ схем ТОиР;
- управление рисками для физических единиц оборудования;
- управление системой обслуживания, ориентированной на надежную эксплуатацию;
- анализ причин аварий и поломок;
- финансовый анализ стоимости ремонта и целесообразности дальнейшей эксплуатации оборудования;
- управление внесением изменений в документацию;
- стратегический анализ использования оборудования;
- стратегическое планирование работы оборудования (основных фондов).

Деление на CMMS- и ЕАМ-системы не является строгим. CMMS-системы могут расширяться до функциональности близкой к ЕАМ за счет дополнительных модулей, например, финансов и расширения функций HR-менеджмента (управление персоналом). В целом ЕАМ-системы рассчитаны на большее количество пользователей и работу с центральной базой предприятия, на обмен информацией с другими системами АСУП и АСУ ТП, т.е. рассчитаны на автоматизацию ТОиР крупного предприятия. Источник [130] сравнивает функциональность таким образом (Рисунок 13).

Таким образом, разрабатываемые в рамках исследования программные системы поддержки, согласно [130], можно отнести к классу ЕАМ-систем. В ходе анализа систем были выделены наиболее существенные критерии с точки зрения ТОиР и проведена экспертная оценка данных систем по этим критериям.

ВОЗМОЖНОСТИ	CMMS	EAM
Состав и иерархическая структура оборудования	+	+
Склад запасных частей и материалов	+	+
Трудовые ресурсы	+	+
Формирование и обработка заявок на снабжение	+	+
Планирование предупредительного обслуживания	+	+
Учети контроль затрат	+	+
Учети контроль выполнения работ	+	+
Стандартная и специальная отчетность	+	+
Поддержка всего жизненного цикла оборудования		+
Сервисное обслуживание		+
Прогнозируемое обслуживание (по состоянию)		+
Выбор стратегии обслуживания		+
Управление физическими рисками владения активами		+
Обслуживание, ориентированное на надежность		+
Анализ корневых причин отказов		+
Анализ стоимости жизненного цикла активов		+
Управление технической документацией		+
Анализ эффективности использования активов		+
Планирование развития производственных активов		+

Рисунок 13 – Сравнение функциональности CMMS- и EAM-систем.

1.7 Цели и задачи исследования

Ранее обоснована необходимость повышения эффективности процесса технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования с учетом его ЖЦ и показана применимость для этого средств интеллектуальной поддержки. Описаны задачи, возникающие на различных стадиях ЖЦ. В связи с этим, **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 (ППрР) при определении стратегии ТОиР.
- 3) Разработать алгоритмы ППрР, 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.

1.8 Основные результаты и выводы по главе 1

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.

Выявлена необходимость разработки комплекса средств поддержки рациональной организации ТОиР ПрО. 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 предприятию.

Разработанные в рамках данного исследования программные системы поддержки относятся к классу ЕАМ-систем.

В результате анализа определены требования к системе поддержки эксплуатации оборудования: обеспечивать надежное функционирование оборудования при ограничениях, накладываемых производственной программой; своевременно и точно оценивать состояние оборудования; организовать рациональное обслуживание и ремонт при существующих затратах; определять необходимые ремонтные воздействия; выполнять ТОиР наилучшим эффективным образом.

Сформулирована цель диссертационного исследования, выполнена постановка задач интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении процессом технического обслуживания, ремонта и модернизации промышленного оборудования.

2 СИСТЕМНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТОиР

2.1 Систематизация этапов, задач, методов и средств поддержки ТОиР

Для определения системного анализа процесса организации работ по обслуживанию и модернизации оборудования проведена систематизация задач, методов и средств поддержки ТОиР с учетом его жизненного цикла. Основные результаты сведены в Таблицу 1.

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

Стадии ЖЦ оборудования	Задачи обеспечения работы оборудования	Методы решения и методические 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 надежности характеристик изделия Корректировка регламента ТОиР	Проведение испытаний Статистическая обработка результатов, определение закономерностей отказов Адаптация регламента ТОиР
Хранение и	Соблюдение требований	Выбор/адаптация структуры ремонтной службы при

Стадии ЖЦ оборудования	Задачи обеспечения работы оборудования	Методы решения и методические средства поддержки
транспортировка / Закупка	к хранению и транспортировке Выбор необходимого оборудования для закупки	создании производства /рядовой 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

Сформирован список основных задач поддержки обслуживания оборудования на стадии эксплуатации:

- мониторинг параметров оборудования;
- прогнозирование отказов;
- корректировка регламента ТОиР с учетом изменения характеристик;
- планирование работ по ТОиР;
- организация работы эксплуатационной/ ремонтной службы;
- планирование и осуществление закупки запчастей и

расходных материалов;

- организация исполнения работ по ТОиР'
- контроль выполнения работ ТОиР;
- анализ результатов работ;
- оценка эффективности работы ремонтно-эксплуатационной службы и процесса.

Предварительно определены методы решения и методические средства поддержки ТОиР на различных этапах ЖЦ ПрО.

2.2 Системологическая модель процесса технического обслуживания и ремонта

Система технического обслуживания и ремонта характеризуется содержанием и установленными правилами выполнения комплекса работ. Она, по существу, является системой управления техническим состоянием оборудования [142], где управляемыми параметрами являются показатели надежности, исправности, готовности, а также показатели трудовых и материальных затрат на ТОиР [45, 63]. Эти показатели являются комплексными. Они определяются как свойствами надежности ОО, так и установленной системой ТОиР.

В исследовании [142] приводится обобщённая модель организационно-технической системы (Рисунок 14).

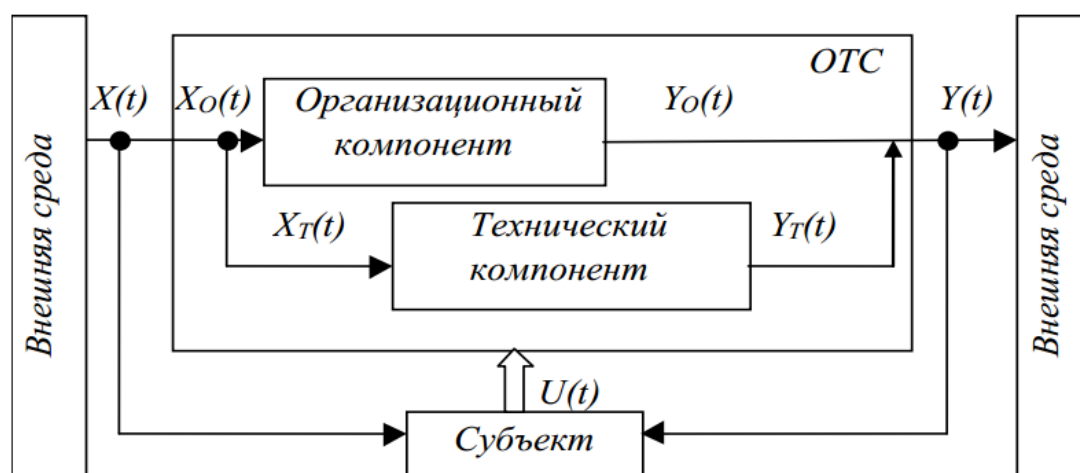


Рисунок 14 – Модель взаимосвязей организационно-технических систем.

По аналогии, процесс организации ТОиР, по сути являющийся процессом сопровождения работы оборудования, представим ниже.

Системологическая модель процесса ТОиР ПрО в общем виде:

$$Pr = \{E, O, I, S, N\}, \text{ где} \quad (8)$$

E – структурные элементы процесса ТОиР (этапы, работы, операции, ремонтные воздействия);

O – объекты ТО и ремонта (промышленное оборудование);

I – субъекты ТО и ремонта (исполнители, стейкхолдеры);

S – ресурсы ТО и Р, в т.ч. средства, машины и инструменты;

N – методические материалы (формы документов, стандарты, инструкции, нормативы, регламенты, руководящие документы, методическое обеспечение, методы и алгоритмы).

Получена графическая интерпретация системологической модели процесса ТОиР – Рисунок 15.

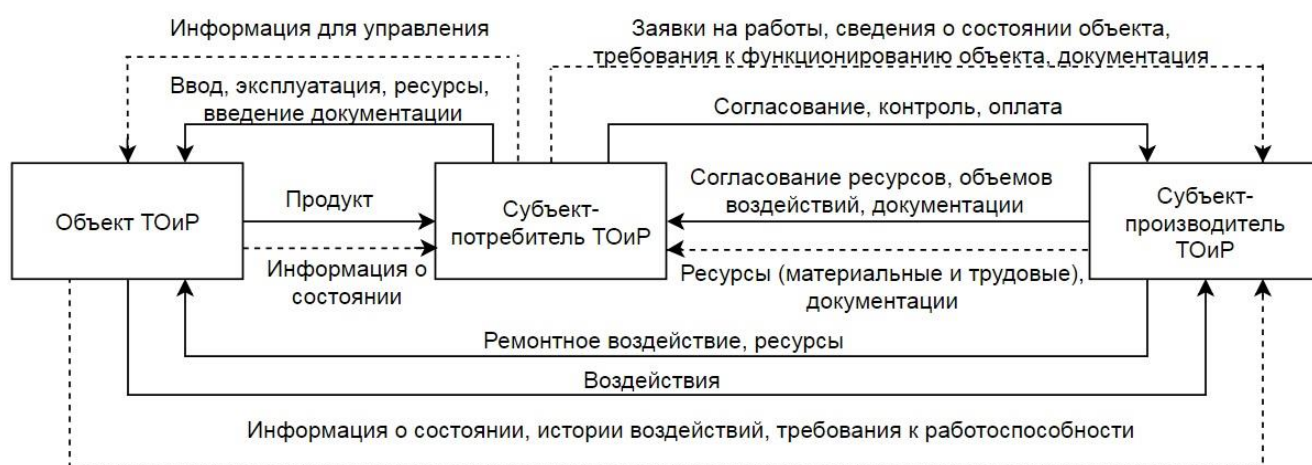


Рисунок 15 – Графическая интерпретация системологической модели процесса ТОиР.

В процессе сопровождения работы оборудования в различной степени принимают участие службы предприятия и внешних организаций, участвующих в обеспечении подготовки и проведении работ по ТОиР. Был проведен структурно-функциональный анализ различных предприятий [75]. Построены структурно-

функциональные модели процессов ТОиР. Рисунок 16 иллюстрирует в нотации IDEF0 верхний уровень процесса сопровождения работы оборудования. Пунктирными линиями показаны возможные изменения в данной схеме в зависимости от роли подрядных организаций в процессе ТОиР.

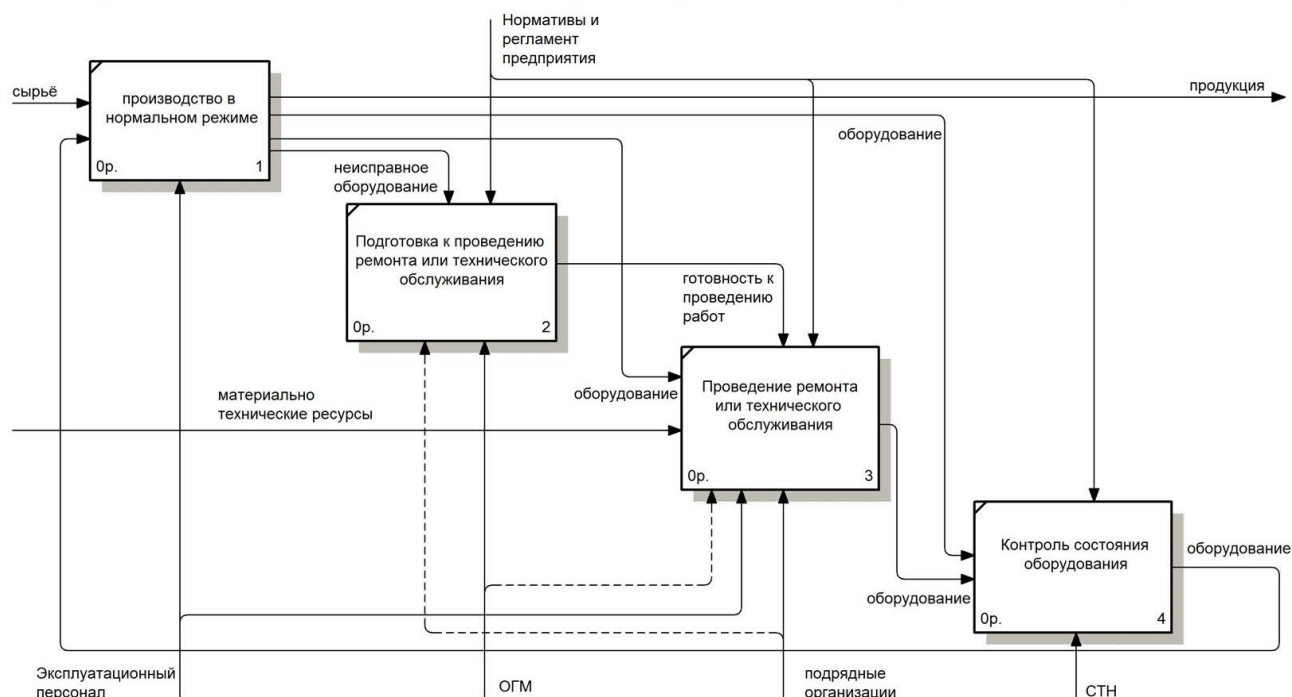


Рисунок 16 – Структурно-функциональная модель процесса ТОиР оборудования (фрагмент).

В процессе обслуживания оборудования можно выделить следующие основные стадии ТОиР (см. Рисунок 16):

- подготовка ТОиР;
- проведение ТОиР;
- контроль ТОиР.

Объектом технического обслуживания и ремонта является промышленное оборудование (см. п. 1.1). Субъекты ТОиР исследованы ниже.

2.3 Субъекты ТОиР

Для последующей автоматизированной поддержки процесса сопровождения

работы оборудования необходимо выделить субъекты, участвующие в данном процессе, и установить их роли в данном процессе. Предприятие для проведения работ по техническому обслуживанию и ремонтам оборудования может использовать как собственные службы, к которым относятся:

- отдел главного механика ОГМ;
- служба технического надзора СТН;
- эксплуатационный персонал;

так и привлекать подрядные организации для выполнения каких-либо отдельных задач либо комплексных мероприятий по ТОиР. Для более полного описания субъектов участвующих в ТОиР рассмотрим структуру каждой из перечисленных служб и их функций управления и задач принятия решения.

2.3.1. Отдел главного механика (ОГМ)

Главный механик обычно подчинен главному инженеру предприятия (Рисунок 17). Структура отдела главного механика (Рисунок 18) построена на стандарте [135] и должностных инструкциях.



Рисунок 17 – Организационная структура служб главного инженера.

Главный механик в соответствии со своими должностными обязанностями отвечает за поддержание оборудования предприятия в работоспособном состоянии, общее планирование средств и ресурсов на проведение работ по техническому обслуживанию и ремонтам, а также за их своевременное проведение. Замести-

тель главного механика в соответствии со своими должностными обязанностями так же отвечает за поддержание оборудования предприятия в работоспособном состоянии, общее планирование средств и ресурсов на проведение работ по техническому обслуживанию и ремонтам, а также за их своевременное проведение. Механик структурного подразделения в соответствии со своими должностными обязанностями должен обеспечивать выполнение работ по обслуживанию и ремонту оборудования на закреплённом за ним структурном подразделении, а также планировать работы по поддержанию работоспособности и повышению надёжности оборудования данного структурного подразделения.

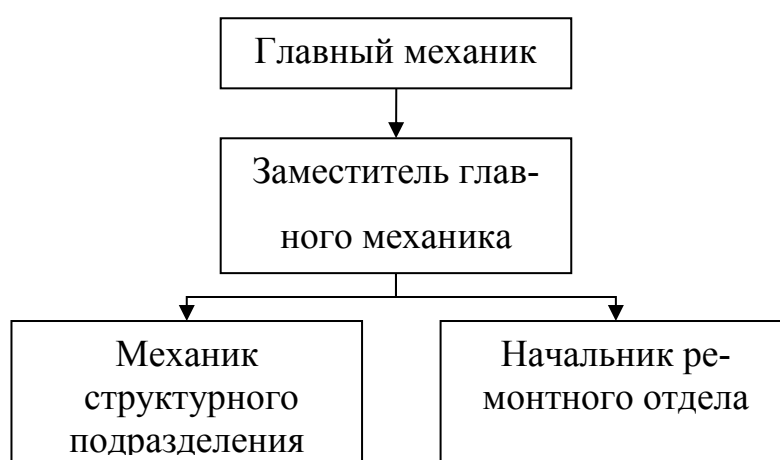


Рисунок 18 – Структура отдела главного механика.

Ремонтная служба при ОГМ в лице начальника ремонтного отдела в соответствии со своими должностными обязанностями должна обеспечивать непосредственное проведение работ по техническому обслуживанию и ремонтам оборудования.

2.3.2. Эксплуатационный персонал

Эксплуатационный персонал в первую очередь предназначен для участия в производственном процессе, но при этом в его задачи может так же входить и ряд работ по обслуживанию оборудования и контролю его состояния. В обязанности эксплуатационного персонала в соответствии с должностными инструкциями мо-

жет входить:

- проведение ежедневного осмотра эксплуатируемого оборудования;
- проведение ежедневного или периодического обслуживания эксплуатируемого оборудования;
- контроль состояния оборудования по показателям приборов и внешним признакам.

2.3.3. Подрядная организация

Подрядные организации, специализирующиеся на ремонте и обслуживании оборудования, имеют следующую типовую структуру (Рисунок 19). Данная структура является обобщённым вариантом структуры подрядных сервисно-ремонтных предприятий. За основу взят документ [129].

Основной задачей подрядных организаций является выполнение подготовки и проведения ремонтов и обслуживания оборудования заказчика согласно поставленной задаче.

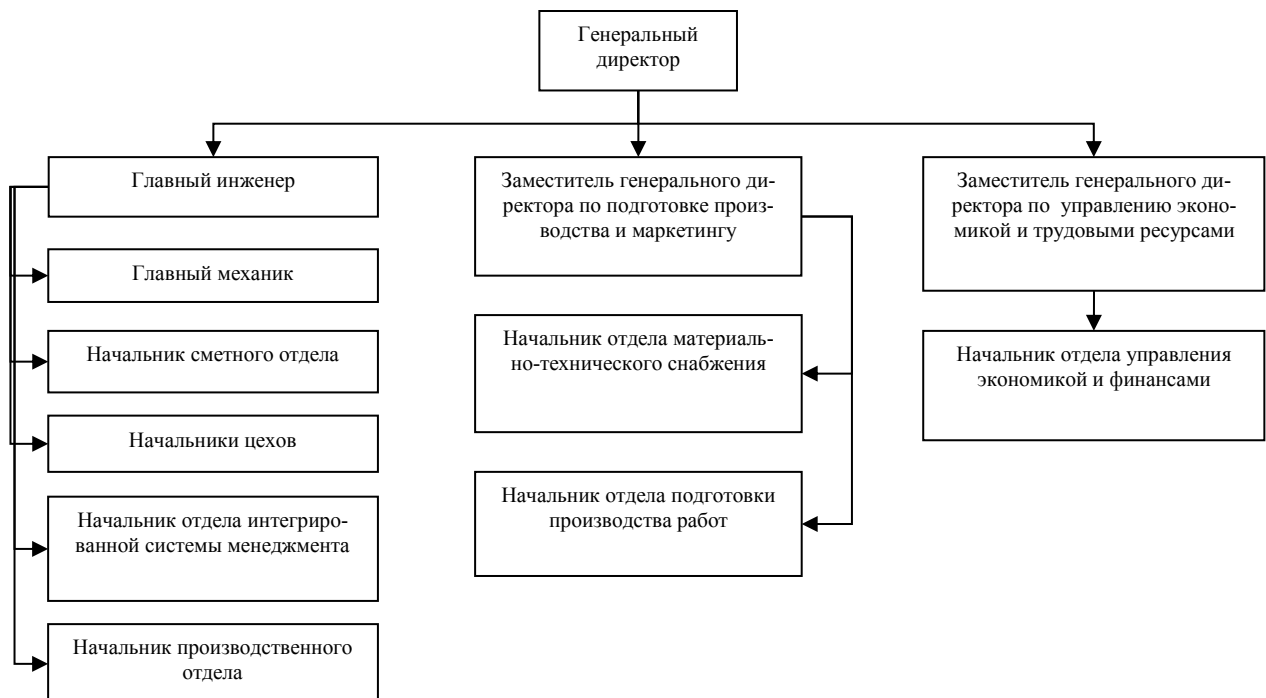


Рисунок 19 – Структура подрядной организации.

В обязанности генерального директора подрядной организации, в соответствии со своими должностными обязанностями, входит общее руководство подрядным предприятием, формирование политики и определение перспективы развития предприятия, выстраивание отношений с заказчиками и поставщиками, управление персоналом, утверждение штатного расписания.

Главный инженер в соответствии со своими должностными обязанностями отвечает за своевременное и качественное исполнение плана, руководство дочерними подразделениями, в случае отсутствия генерального директора – выполняет его должностные обязанности.

Заместитель генерального директора по подготовке производства и маркетингу, в соответствии со своими должностными обязанностями, обеспечивает контроль за своевременной подготовкой и качеством материально технических ресурсов необходимых для проведения работ по техническому обслуживанию и ремонтам, а также отвечает за переговоры с поставщиками материально технических ресурсов и планирования финансов на их приобретение.

Заместитель генерального директора по управлению экономикой и трудовыми ресурсами, в соответствии со своими должностными обязанностями, отвечает за осуществление экономического планирования на предприятии, направленного на организацию рациональной хозяйственной деятельности, выявление и использование резервов производства с целью достижения наибольшей экономической эффективности, Разработка проектов финансовых планов, бюджетов, выполнение необходимых расчетов к ним, доведение показателей утвержденного финансового плана и вытекающих из него заданий, лимитов, норм и нормативов до подразделений предприятия и осуществление систематического контроля за их соблюдением и выполнением.

2.4 Роль субъектов ТОиР

Все вышеперечисленные субъекты играют различные роли в организации и

проведении ТОиР. Роль субъектов может варьироваться в зависимости от организации структуры предприятия. Рассмотрим роль каждого из субъектов ТОиР в соответствии с выделенными стадиями.

2.4.1. Подготовка ТОиР

В процессе подготовки ТОиР непосредственное участие принимают: отдел главного механика (ОГМ) и служба технического надзора (СТН). Так же, в зависимости от поставленной задачи, в процессе подготовки ТОиР могут участвовать подрядные организации.

Работа отдела главного механика в подготовке ТОиР заключается в:

- текущем и долгосрочном планировании:
 - сроков проведения ТОиР;
 - требуемых материалов для проведения ТОиР;
- подготовке
 - материально технической базы для проведения ТОиР;
 - договоров с подрядными организациями на проведение ТОиР.

Так же в задачи ОГМ входит разработка и осуществление технической политики предприятия в вопросах эксплуатации, модернизации и замены существующего оборудования на основании современных достижений в области эксплуатации и диагностики состояния оборудования.

Служба технического надзора (СТН). В задачи службы технического надзора по подготовке ТОиР входит текущее и долгосрочное планирование работ по ТОиР на основе системы планово предупредительных ремонтов (ППР), а также планирования работ по ТОиР на основе результатов контроля состояния оборудования в ходе эксплуатации.

Подрядные организации. Работа подрядных организаций по подготовке к ТОиР заключается в том же в чём и работа ОГМ за исключением долгосрочного планирования проведения работ и планирования требуемых материалов, а именно

она заключается в:

- текущем планировании:
 - сроков проведения ТОиР;
 - требуемых материалов для проведения ТОиР;
- подготовке:
 - материально технической базы для проведения ТОиР;
 - договоров с другими организациями или специалистами на проведение работ по ТОиР.

То есть на привлекаемые подрядные организации частично либо полностью возлагаются все работы по подготовке к проведению работ по ТОиР.

2.4.2. Проведение ТОиР

В проведении ТОиР в зависимости от структуры и организации предприятия участвуют ОГМ, подрядные организации и эксплуатационный персонал.

Отдел главного механика (ОГМ). В случае если предприятие располагает собственной службой ТОиР при отделе главного механика или работы по проведению ТОиР могут быть произведены без привлечения дополнительного специализированного персонала, то данные работы выполняются силами ОГМ. В таком случае в задачи ОГМ входит:

- подготовка документации на проведение работ по ТОиР;
- непосредственно проведение работ по ТОиР;
- подготовка документации о выполненных работах по ТОиР;

В случае если для проведения работ по ТОиР отдел главного механика привлекает подрядные организации, то в задачи ОГМ по проведению ТОиР входит:

- постановка задачи подрядным организациям на проведение работ по ТОиР;
- контроль соответствия проведённых работ по ТОиР поставленным задачам.

Эксплуатационный персонал. Незначительные ремонтные работы и работы по обслуживанию оборудования могут выполняться обслуживающим персоналом.

Подрядные организации. В задачи подрядных организаций по проведению работ по ТОиР входит выполнение задач, поставленных ОГМ. Задачи, выполняемые подрядными организациями по выполнению работ по ТОиР аналогичны задачам службы проведения ТОиР при отделе главного механика:

- подготовка документации на проведение работ по ТОиР;
- непосредственно проведение работ по ТОиР;
- подготовка документации о выполненных работах по ТОиР;
- подготовка отчётной документации для заказчика.

2.4.3. Контроль ТОиР

Осуществление контроля ТОиР выполняется силами ОГМ и СТН в ходе проверки выполнения работ и контроля работы оборудования, а также эксплуатационным персоналом в период эксплуатации оборудования. Отдел главного механика (ОГМ). В задачи отдела главного механика по контролю ТОиР и контролю состояния оборудования входит выявление явных дефектов и неисправностей оборудования механиками структурных подразделений.

Служба технического надзора (СТН). В задачи службы технического надзора по контролю ТОиР входит контроль соответствия проведённых работ нормам проведения ТОиР, а также проведение контроля состояния оборудования во время плановых осмотров оборудования, с последующими выводами о необходимости проведения работ по ТОиР.

Эксплуатационный персонал. В задачи эксплуатационного персонала по контролю входит выявление отклонений от нормы в работе оборудования в ходе его эксплуатации и сообщение о выявленных отклонениях механику структурного подразделения службы ОГМ.

2.5 Конфликт целей субъектов

Известно, что цели участвующих в системе субъектов, могут быть несогласованными и даже конфликтовать. Приведем любопытный пример. Согласно [143], Г.Форд платил ремонтникам только за то время, когда они ничего не ремонтировали. На одном из заводов Генри Форда бригада работников получала деньги за то, что отдыхала. Это была сервисная бригада, которая отвечала за бесперебойную работу конвейера (ремонтники). Они получали зарплату только когда сидели в комнате отдыха. Как только зажигалась красная лампа поломки линии сборки, останавливался счетчик, начислявший им деньги. В результате они всегда оперативно делали ремонт, чтобы быстрее вернуться в комнату отдыха, и делали ремонт качественно, чтобы им не приходилось покидать комнату в ближайшее время из-за той же неисправности.

Но также известен ряд продолжений и обратных явлений. Бригада работников сидела в комнате отдыха и отдыхала, в то время, как с конвейера сходил металлолом. А "красную лампочку" они просто выкрутили (разбили, перерезали провод, и т.п.). На самом деле, очень заманчиво – платить за отсутствие жалоб. Но, на практике, такое приводит к игнорированию и маскировке проблем. Например, если рабочие замаскируют неисправность (вывернут лампочку) – они и вычета из зарплаты за поломку избегут, и им "не придется покидать комнату". Пример применения на практике такого "решения": плавкий предохранитель заменить болтом/гвоздем, чтобы он опять не сгорел. И "не пришлось покидать комнату". Но потом пожар обойдется значительно дороже плавкого предохранителя. Только пожар – не его (ремонтника) проблема. Игнорировали проблемы и валили их на чужие плечи, вместо того, чтобы их решать. А там, где платили за исправление проблем – эти проблемы решали.

Эти две истории иллюстрируют явление конфликта целей различных субъектов процесса ТОиР. Была выявлена проблема [91], заключающаяся в наборе конфликтов целей субъектов процесса обеспечения работоспособности оборудо-

вания: собственников предприятий, директората, ремонтных служб, специалистов-механиков и подрядных сервисных организаций, осуществляющих ремонт и обслуживание на принципах аутсорсинга. Производится работа по формализации задачи оптимизации, которая также может быть решена в рамках общего направления работ по программно-информационной поддержке ТОиР. Ниже приводятся выявленные предположительные цели субъектов ТОиР.

Собственники предприятия желают получить максимальную прибыль от его функционирования при минимальных затратах и заинтересованы в более эффективном использовании существующих ресурсов предприятия для выпуска максимального объема продукции.

Топ-менеджеры стремятся получить максимальную заработную плату в условиях существующей системы мотивации и оплаты их труда при минимальном наборе управляющих воздействий для снижения возможной ответственности за принятые решения. Набор условий задачи оптимизации для целевой функции «управленцев» может варьироваться.

Ремонтные службы, в свою очередь, состоят из иерархии составляющих их субъектов. Основные цели ОГМ – эффективное использование имеющихся людских ресурсов при максимально возможном поступлении денежных средств на обеспечение работ по ТОиР и балансе временных затрат на грани максимально возможных сроков, отпущенных директоратом на операции ТОиР для обеспечения надежного их выполнения. При этом, выполняя контрольную, организационную и управляющую функцию, ОГМ также заинтересован в получении максимальной оплаты труда в рамках существующей системы мотивации/оплаты труда с минимизацией ответственности. По этой причине специалистам-механикам подразделений (цехов, установок, участков) делегируется максимальный набор полномочий по организации работ по ТОиР вверенного им оборудования.

Механики также заинтересованы в неснижении оплаты труда, поэтому вынуждены обеспечивать минимальные простои оборудования в пределах, отпущенных им руководством. При этом для выполнения своей работы по ТОиР они

требуют максимальных объемов материальных (это запчасти и расходные материалы), временных и привлеченных извне подразделения человеческих ресурсов, ограничения которых задаются ОГМ с минимизацией собственных трудозатрат. Задаваемые свыше ограничения на затраты материальных ресурсов могут также включать минимизацию использования покупных запасных частей (деталей оборудования) за счет использования деталей собственного изготовления (например, если механики обслуживают цех с металлорежущим оборудованием).

Целью сервисной подрядной организации является максимизация собственной прибыли за счет рационального использования ресурсов (минимизация собственных материальных затрат, не оплачиваемых заказчиком, и максимизация внешних материальных затрат при условии увеличения разницы цены закупки и реализации заказчику) при учете условий выполнения работ, задаваемых заказчиком и другими контрагентами. В частных случаях состав целей субъектов процесса ТОиР может отличаться от описанного выше.

Решением задачи сокращения издержек и повышения мотивации субъектов процесса ТОиР является выделение из организационной структуры предприятия сервисного центра, с возможным обособлением его как дочернего или внешнего предприятия. Многие предприятия поступили подобным образом для сокращения своих затрат. При этом состав целей данного субъекта претерпевает изменения. Сотрудники подразделения в первом случае имеют состав целей, сходный с целями механиков, находящихся в подчинении у ОГМ, а во втором – сотрудников сервисной подрядной организации.

Решение задачи достижения целей каждого из субъектов процесса ТОиР представляет отдельный интерес и является темой отдельного исследования с применением необходимого математического аппарата оптимизации целевой функции. Еще более интересной представляется задача обеспечения интересов всех субъектов, вовлеченных в процесс ТОиР. Например, конфликт интересов возникает у собственников предприятия, желающих, чтобы работоспособность оборудования достигалась ОГМ с минимальными затратами и максимальной про-

зрачностью, и ОГМ, в интересах которого обеспечение максимального объема страховых запасов запасных частей и др.

В идеальном процессе ТОиР должно достигаться максимальное удовлетворение целей различных его субъектов. Достижение такого эффекта возможно путем согласования целей субъектов процесса с соблюдением баланса их интересов. Одновременно может возникнуть синергетический эффект, при котором соблюдение целей одних субъектов способствует повышению степени удовлетворенности других и всего коллектива субъектов в целом.

Одним из возможных вариантов решения выявленной проблемы, по мнению экспертов, является централизация ремонтных служб предприятий, а в отдельных случаях и полная ликвидация отдельных излишних субъектов процесса ТОиР, что позволит повысить оперативность выполнения ремонтов, уменьшить расходную часть бюджета предприятия, повысить прозрачность механизмов реализации процессов ТОиР.

Для решения задачи согласования интересов субъектов процесса ТОиР могут применяться различные модели для имитационного моделирования, наиболее перспективным из которых является подход на основе использования интеллектуальных агентов мультиагентной системы. Для решения задач максимизации достижения целей отдельных субъектов и их групп может применяться программно-информационное обеспечение.

2.6 Структурно-функциональные и потоково-информационные модели процесса ТОиР

В ходе работы был проведён анализ процессов поддержания работоспособности оборудования предприятия и составлены алгоритмы выполнения соответствующих процессов для:

- выполнения планово-предупредительных работ по ТОиРО;
- выполнения внеплановых работ по ТОиРО.

Были разработаны структурно-функциональные и потоково-функциональные SADT-диаграммы выполнения планово-предупредительных работ и внеплановых работ по ТОиРО [75].

Рисунок 20 иллюстрирует верхний уровень разработанной SADT-модели выполнения планово-предупредительных работ по ТОиРО. Основными элементами процесса являются задачи составления графика работ, выявления стоимости работ и материалов, проведение и учет работ.

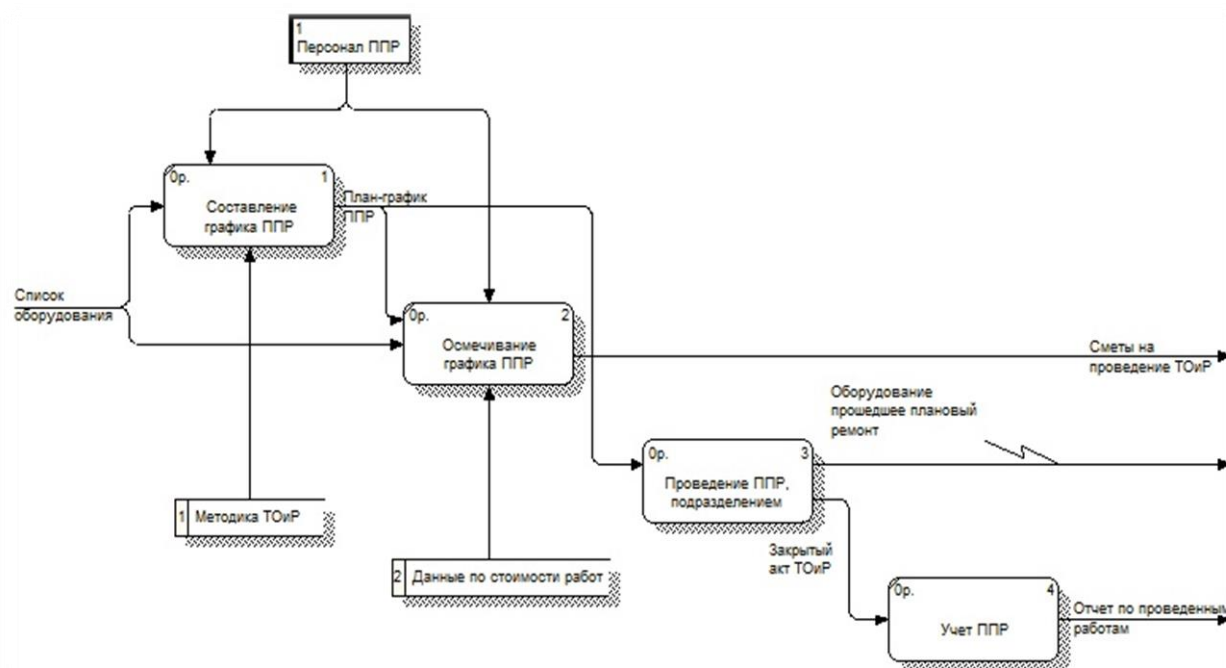


Рисунок 20 – Потоково-функциональная модель процесса планово-предупредительных работ по ТОиР оборудования (фрагмент).

Рисунок 21 содержит верхний уровень разработанной SADT-модели выполнения внеплановых работ. Основными выявленными задачами являются обнаружение отказа оборудования, составление акта аварии, выявления стоимости ремонта, проведение ремонта и документирование проведенных работ.

Также путем исследования процесса организации ТОиР различных предприятий было проведено обобщение и получена общая схема процесса организации технического обслуживания и ремонтов (Рисунок 22). Процесс организации технического обслуживания и ремонтов состоит из таких основных задач, как планирование работ и закупок запчастей, распределение и выполнение работ, а

также контроль проведения работ.

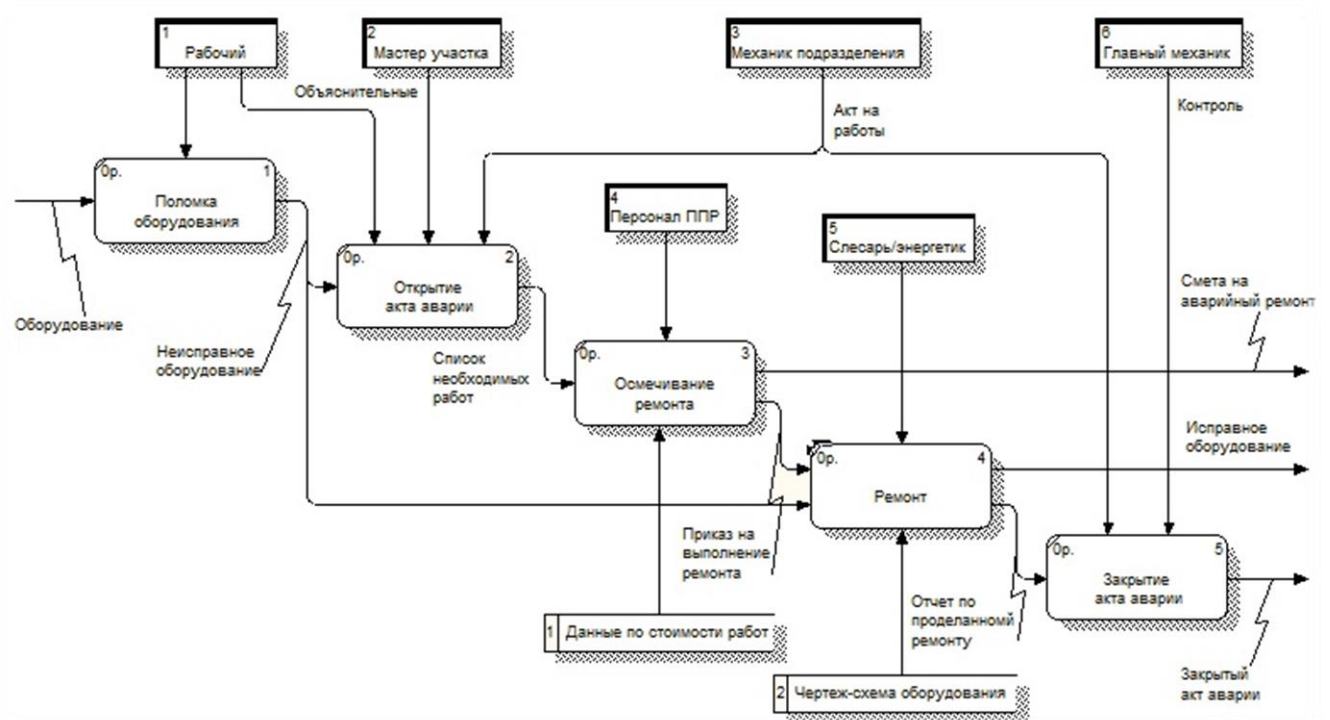


Рисунок 21 – Потокно-функциональная модель процесса внеплановых аварийных работ по ТОиР оборудования (фрагмент).

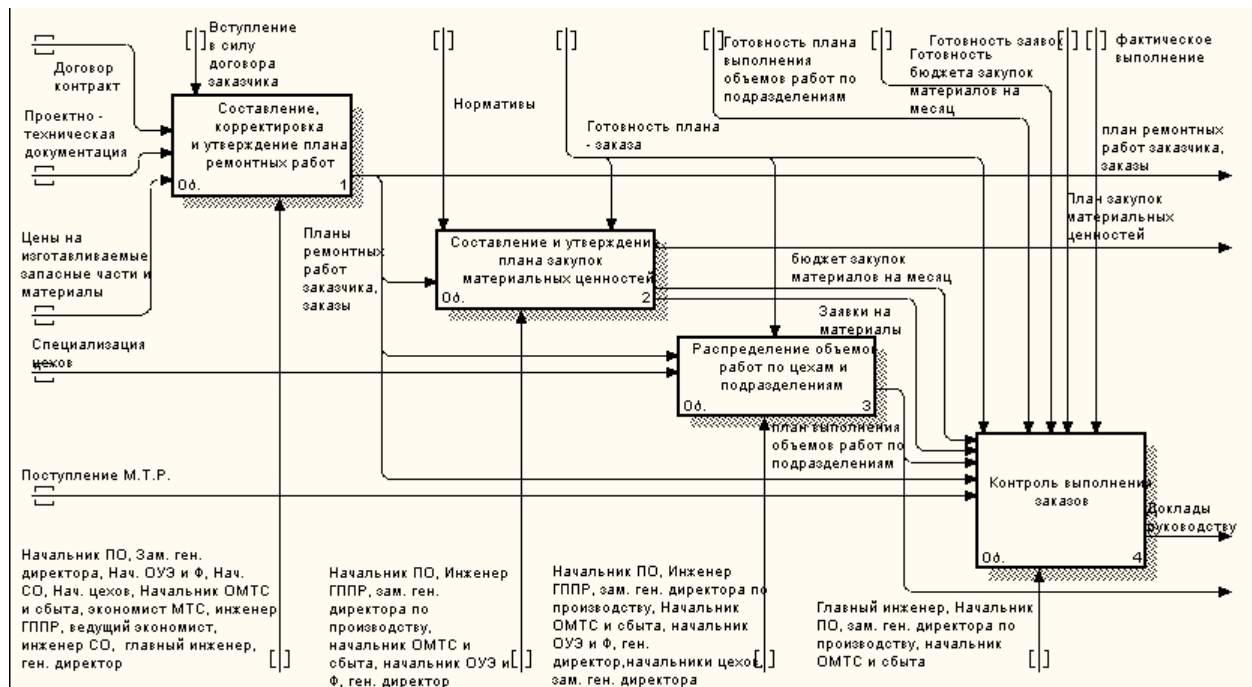


Рисунок 22 – Общая схема процесса организации технического обслуживания и ремонтов.

Составление, корректировка и утверждение плана ремонтных работ (Рисунок 23) состоит из задач составления плана работ, оценки закупаемых и изготавливаемых материальных ценностей, документирование, Схемы задач составление и утверждение плана закупок материальных ценностей (Рисунок 24), распределение объемов работ по цехам и подразделениям (Рисунок 25)

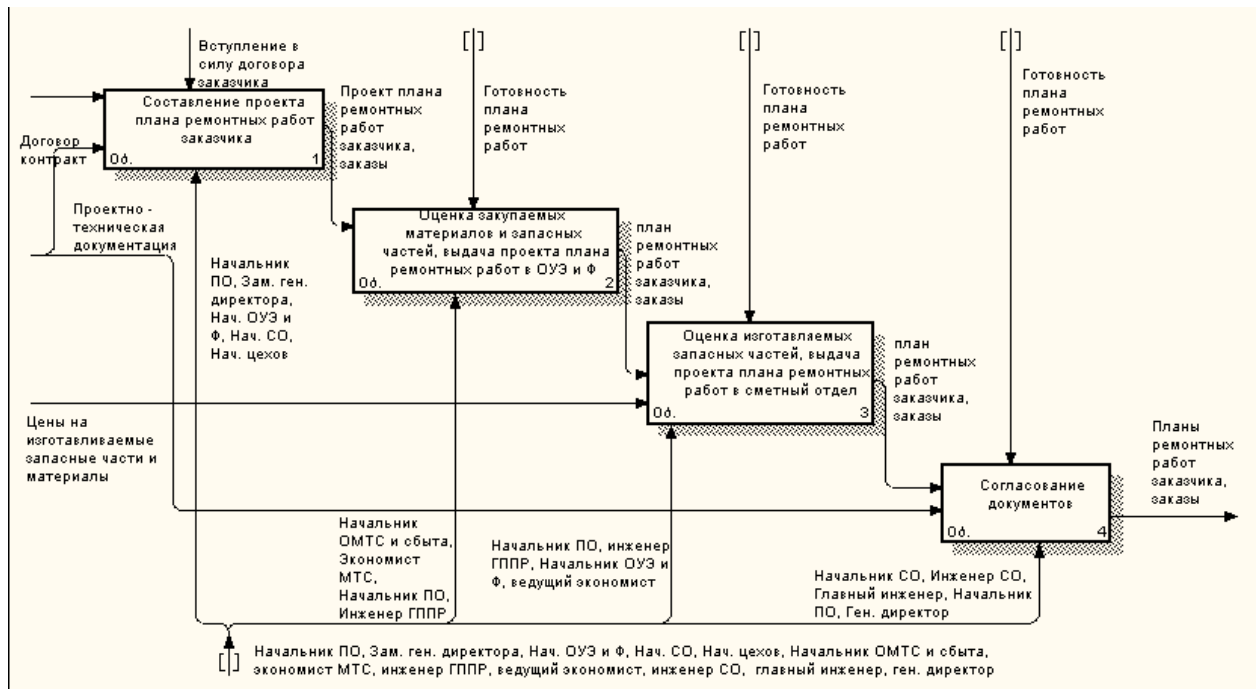


Рисунок 23 – Составление, корректировка и утверждение плана ремонтных работ.

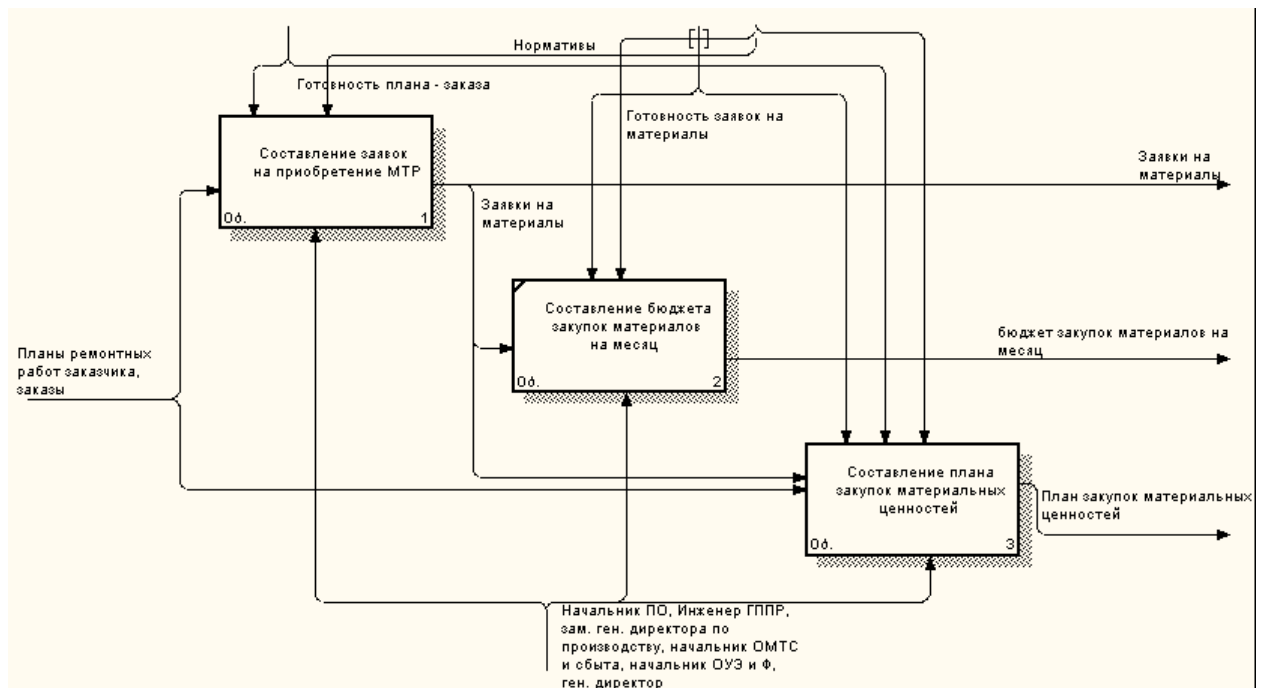


Рисунок 24 – Составление и утверждение плана закупок материальных ценностей.

Контроль выполнения заказов (Рисунок 26) и учет проведенных работ (Рисунок 27) приведены ниже. Детализация учета проведения работ по ТОиР – Рисунок 28.

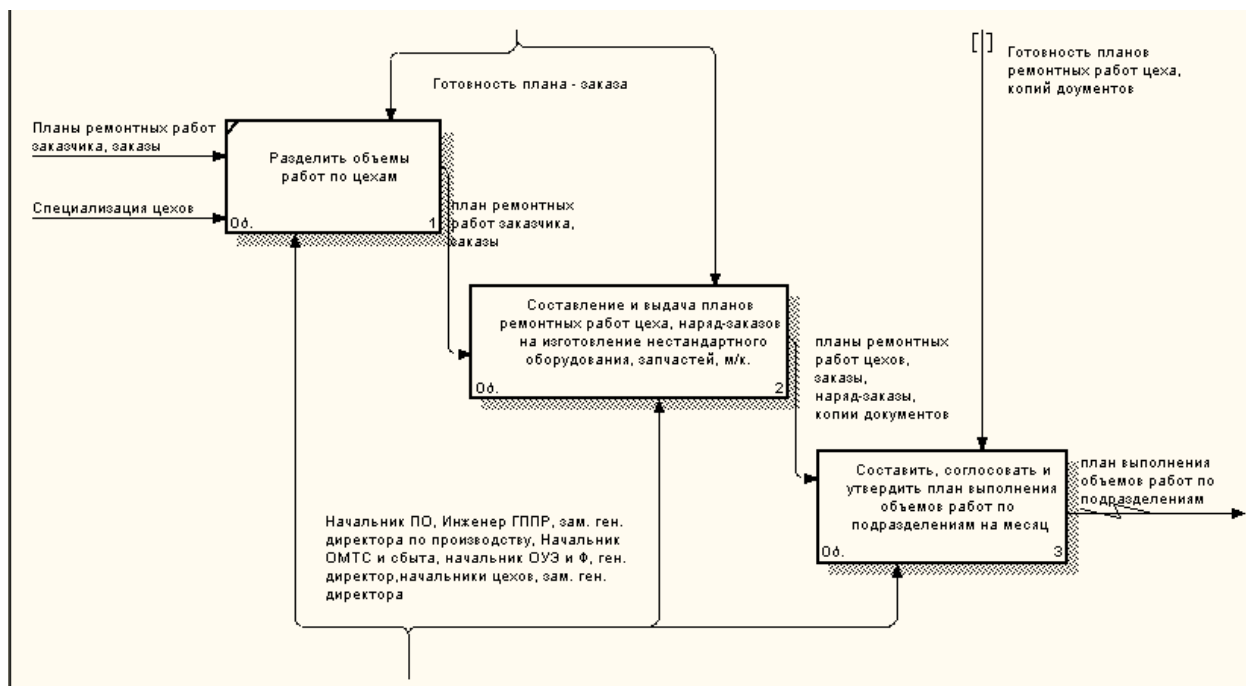


Рисунок 25 – Распределение объемов работ по цехам и подразделениям

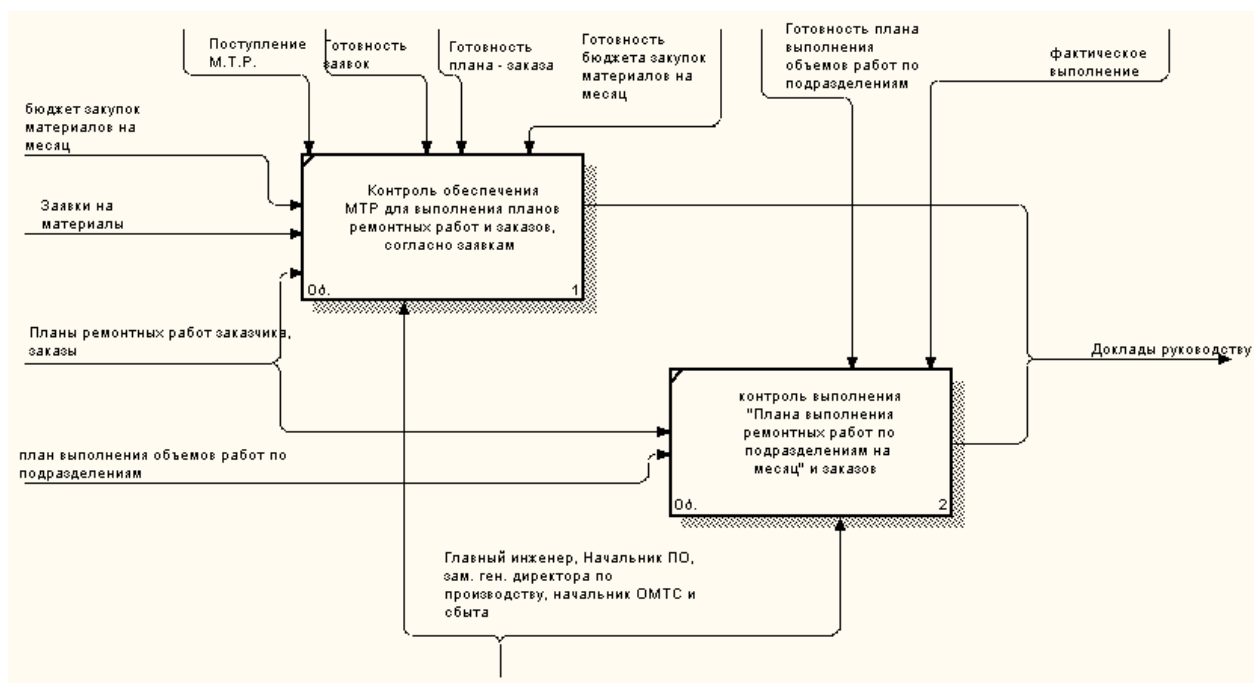


Рисунок 26 – Контроль выполнения заказов.

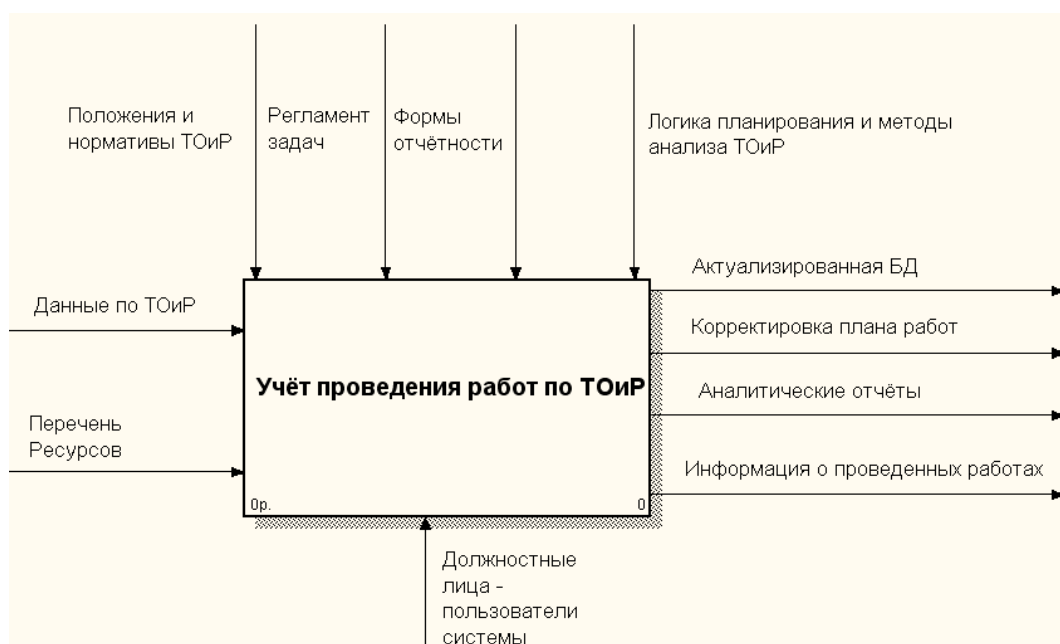


Рисунок 27 – Учет проведения работ по ТОиР.

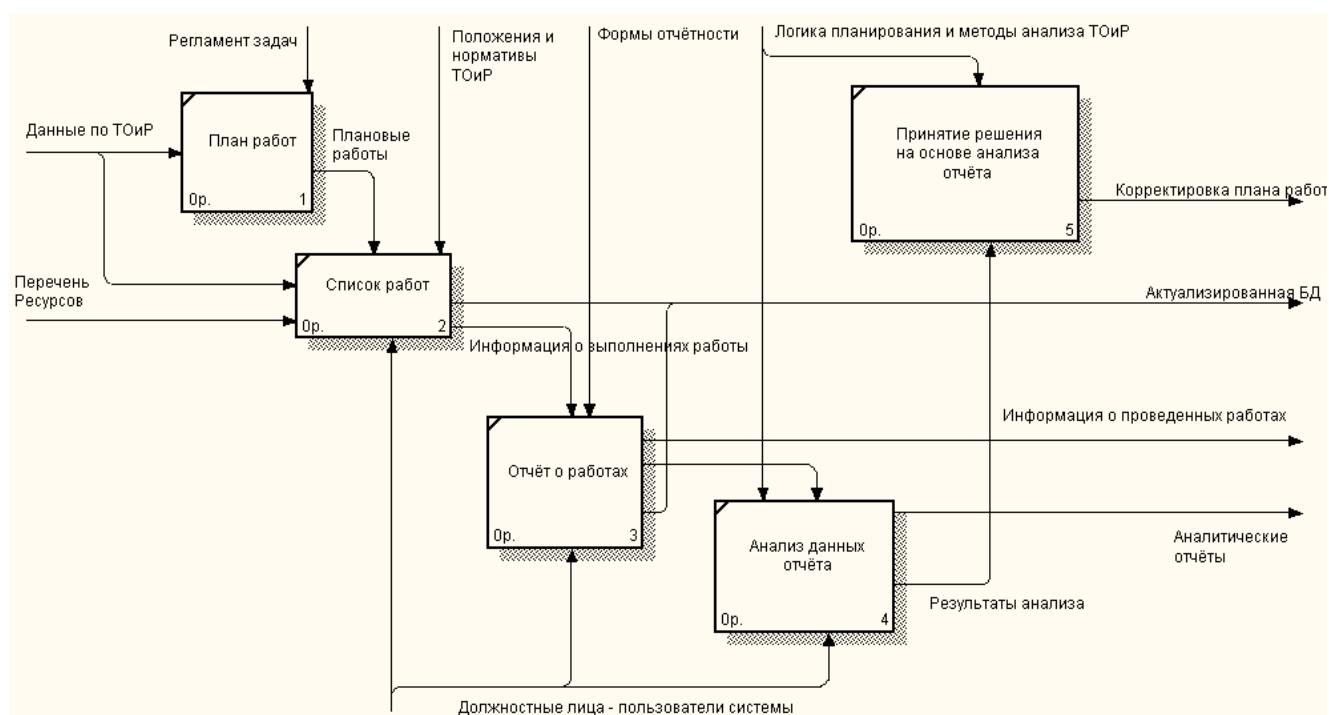


Рисунок 28 – Детализация учета проведения работ по ТОиР.

2.6.1. Типовые задачи программно-информационной поддержки процесса ТОиР

В работах [77 и 109] сделаны предположения, что задача обеспечения бес-

перебойного функционирования систем является универсальной и относится не только к оборудованию. Соответственно, решая задачу организации ТОиР оборудования, можно получить методологию обеспечения работоспособности систем, которая бы предоставляла набор методов и алгоритмов обеспечения их нормального функционирования, повышала степень управляемости такого процесса. Можно выделить целый класс задач, направленных на обеспечение работоспособности системы.

На основании структурно-функционального моделирования сформулирован набор задач программно-информационной поддержки процесса ТОиР:

1) Мониторинг основных параметров функционирования:

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

2) Диагностика:

- анализ состояния системы;
- классификация проблемы;
- локализация 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.

2.7 Основные результаты и выводы по главе 2

Проведено исследование системы ТОиР промышленного оборудования. В процессе системного анализа было выполнено следующее:

- Дана характеристика системы ТОиР промышленного оборудования.
 - Выполнена разработка системологической модели организации проведения процесса технического обслуживания и ремонта ПрО.
 - Построена графическая интерпретация системологической модели процесса ТОиР.
 - Выполнена формализация процессов ТОиР ПрО, построены частные структурно-функциональные и потоково-функциональные модели.
 - Выделены основные стадии ТОиР.
 - Исследован состав и роли субъектов процесса ТОиР ПрО.
 - Сформулирован набор задач программно-информационной поддержки ТОиР промышленного оборудования:
- 1) мониторинг основных параметров функционирования;
 - 2) диагностика;
 - 3) планирование будущих воздействий;

- 4) принятие решения о вмешательстве;
- 5) восстановление работоспособности;
- 6) контроль совершенных действий;
- 7) принятие решения об окончании вмешательства или новых воздействиях.

Проведена систематизация этапов, задач, методов и средств поддержки ТОиР, в рамках которой исследованы стадии жизненного цикла промышленного оборудования в качестве системообразующего фактора.

Системологическая модель процесса ТОиР, а также частные структурно-функциональные и потоково-информационные модели процесса ТОиР, позволяют описать процесс ТОиР как целостную систему на протяжении ЖЦ.

Объекты ТОиР являются сложными техническими системами, претерпевающими изменения на протяжении жизненного цикла, а также этапах ЖЦ во время проведения процедур над ними. Поэтому необходимо использовать единую модель описания структур, функций и параметров технических систем, а также операций над ними. Для задания отношений между концептами понятий системной области знаний, а также хранения прецедентов необходимо использование онтологий.

В связи с тем, что цели субъектов ТОиР могут быть несогласованными, а также противоречить друг другу, необходимо использование системы согласования и управления ими. Для этого должны использоваться системы сбалансированных показателей эффективности и многоагентные системы.

Объединить модели, методы и управляющие алгоритмы должна единая система, получившая название «Концепция программно-информационной поддержки проактивного ТОиР промышленного оборудования».

3 РАЗРАБОТКА НАУЧНО–МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

3.1 Концепция программно-информационной поддержки проактивного ТОиР промышленного оборудования

Предложена концепция программно-информационной поддержки ТОиР промышленного оборудования (Рисунок 30, Рисунок 29):

- 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 (важностью его постоянной работы), стоимость ремонта, сроки ТОиР и др. При этом использовать экспертное ранжирование оборудования по группам на основе ряда критериев.

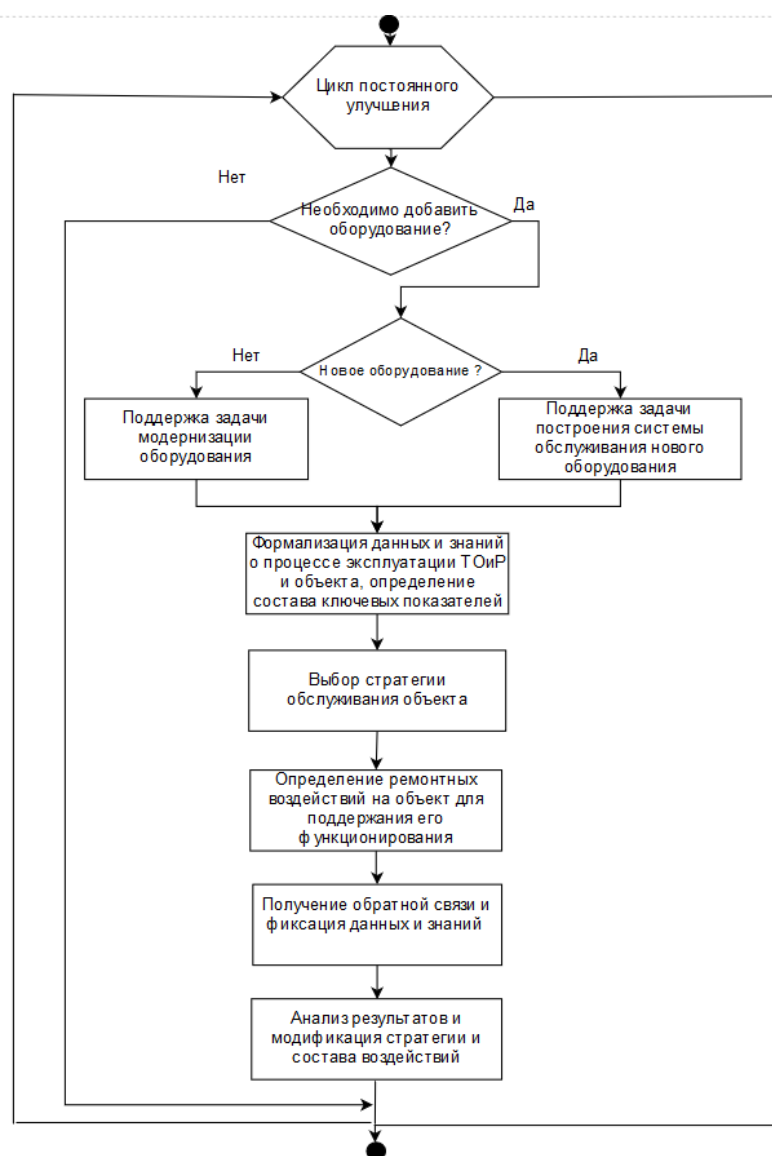


Рисунок 29 – Обобщенный алгоритм концепции программно-информационной поддержки проактивного ТИР промышленного оборудования.

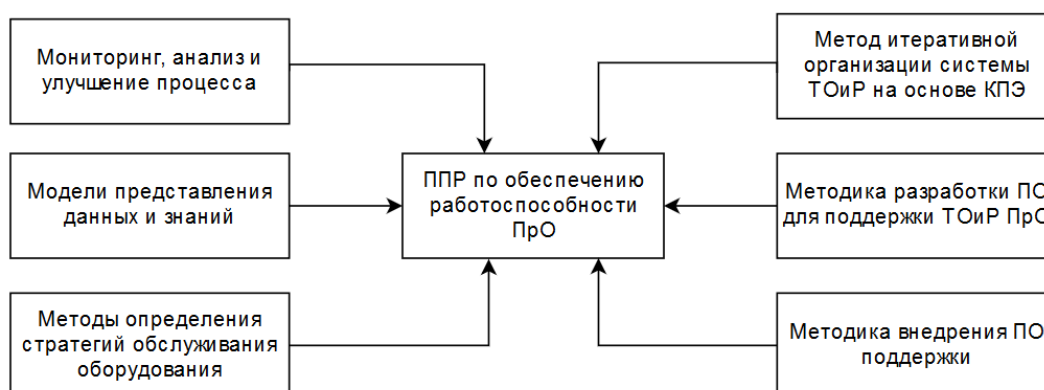


Рисунок 30 – Схема концепции концепция программно-информационной поддержки проактивного ТИР промышленного оборудования.

3.2 Управление процессом ТОиР ПрО с помощью системы показателей

3.2.1. Система показателей качества продукции (изделий)

Облик машины складывается исходя из анализа реальных потребностей общества на каждом этапе его экономического развития с учетом:

- достижений в области технологии выполнения работ, для которых предназначена машина;
- требований экономики (по производительности, расходованию энергосредств, капитальным затратам, эксплуатационным издержкам, затратам на создание и постановку на производство, затратам на утилизацию и другим показателям);
- требований по экологическим показателям (воздействие на окружающую среду при разработке, изготовлении, использовании и утилизации);
- требований по эргономике (на всех этапах жизненного цикла);
- эстетических требований. В общем виде, концепция машины является компромиссом [32, 48, 96, 101] между противоречивыми требованиями названных групп показателей (для конкретных социально-экономических условий конкретного общества, в наибольшей степени обеспечивающего оптимальное функционирование системы: общество – человек – машина – местность). [29, 38]

Необходимо учитывать взаимное влияние различных объектов техносферы, составляющих комплекс «общество – человек – машинно-технологический комплекс – машина – местность – экономика».

При проектировании машины задачей конструктора является достижение оптимального сочетания спектра описывающих ее параметров, нахождение той максимальной возможной на данный момент грани, на которой существует баланс между множеством возможных значений из ее положительных и нежелательных характеристик. Довольно часто проектировщики сталкиваются с противоречиями.

Таковыми являются преобладание скорости темпов роста сложности технических систем над скоростью развития методов их проектирования и продолжительности разработки над сроком морального старения систем [64]. Часто улучшение одного параметра системы влечет ухудшение связанных с ним других параметров (техническое противоречие).

Согласно [50] под качеством продукции (изделий) понимается совокупность ее свойств, обуславливающих пригодность удовлетворять определенные потребности применительно к назначению. Оптимизационную задачу повышения качества машин следует решать на ранних стадиях жизненного цикла изделия, особенно на стадии проектирования, когда возможно оптимизировать структуру, кинематику, динамику, эксплуатационные свойства. Качество машин зависит от совокупности многих факторов [163], среди которых наиболее существенны:

- инженерные – конструкция машины и технология ее изготовления;
- производственные – технический уровень, состояние технологического оснащения и контрольно-измерительных средств;
- снабженческие – сортамент и качество поставляемых предприятию конструкционных материалов [107] и комплектующих изделий;
- квалификационные – знания и опыт занятых рабочих и ИТР;
- организационные – состояние технологической дисциплины;
- экономические – финансирование мероприятий по повышению качества продукции, система материального стимулирования.

Как и любое техническое противоречие, проблема повышения качества связана с дополнительными расходами. Окупаемость дополнительных затрат обеспечивается повышением эффективности использования машин – снижением затрат на техническое обслуживание и ремонт, улучшением условий труда и, как следствие, повышением выработки [113].

Для оценки качества машины пользуются системой показателей. Показателем качества машины называют количественное выражение одного или нескольких ее свойств. Выявленный с помощью классификации из [50] перечень показате-

телей качества машины приведен ниже (Таблица 2, Рисунок 31). Машина, помимо главного признака – назначения, характеризуется рядом других, некоторые из которых выражаются количественно, другие качественно. Количественные признаки выступают в роли параметров. В процессе проектирования многие признаки переходят из разряда качественных в разряд количественных. Так, на этапе поиска технических решений, когда отображение вариантов ограничено принципиальной схемой, трудно оценить количественно, например, технологичность изделия. Оценка качества происходит на всех этапах, однако наиболее достоверные данные можно получить при завершении работ. Особенно важно еще на начальных этапах проектирования получить точную оценку уровня качества продукции. Имея требования к характеристикам будущего изделия в техническом задании (ТЗ) уже можно прогнозировать значение совокупного показателя качества.

Таблица 2 – Классификация показателей качества продукции

Признак классификации	Группы показателей качества продукции
1. По характеризующим свойствам	Показатели назначения Показатели надежности (безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости) Эргономические показатели Эстетические показатели Показатели транспортабельности Показатели унификации Патентно-правовые показатели Экологические показатели Показатели безопасности Экономические показатели
2. По способу выражения	Показатели, выраженные в натуральных единицах Показатели, выраженные в стоимостных единицах

Признак классификации	Группы показателей качества продукции
3. По количеству характеризующих свойств	Единичные показатели Комплексные показатели (групповые, обобщенные, интегральные)
4. По применению для оценки	Базовые показатели Относительные показатели
5. По стадии определения значений показателей	Прогнозируемые показатели Проектные показатели Производственные показатели Эксплуатационные показатели

3.2.1. Метод непрерывного улучшения процесса ТООР ПрО с помощью системы показателей

В работе [105] рассмотрен метод оптимизации работы оборудования, где в качестве целевой функции предложен комплексный критерий на основе свертки частных показателей эффективности:

$$Q = \prod_{i=1}^n q_i^{\alpha_i}, \text{ где} \quad (9)$$

q_i — относительные единичные показатели эффективности работы оборудования;

n — количество показателей эффективности работы оборудования;

α — коэффициенты весомости единичных показателей эффективности работы оборудования;

i — порядковый номер показателя эффективности работы оборудования.



Рисунок 31 – Классификация показателей качества продукции по характеризующим свойствам.

Прибыль предприятия зависит от эффективности работы его оборудования, которая описывается коэффициентом полной эффективности оборудования (КПЭО, англ. Overall Equipment Efficiency (OEE)), являющимся согласно [6, 115] произведением коэффициента готовности оборудования на показатели производительности и качества. Поэтому одним из направлений оптимизации производительности и расходов для промышленных предприятий является повышение эффективности эксплуатации оборудования за счет совершенствования технического обслуживания и ремонта (ТОиР) 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.

$$OEE = \sum_{\substack{0 \leq i \leq m \\ 0 < j < n}} OEE_{i,j} \quad (10)$$

Коэффициент полной эффективности элемента i группы оборудования j :

$$OEE_{i,j} = Av \times P \times Q, \quad (11)$$

где Av – коэффициент готовности оборудования;

P – показатель производительности оборудования;

Q – показатель качества.

Коэффициент готовности оборудования

$$Av = OT / PPT, \quad (12)$$

где OT – операционное время работы оборудования; PPT – запланированное время работы оборудования.

Показатель производительности

$$P = TP / (OT * IRT) \quad (13)$$

где OT – операционное время работы оборудования; TP – количество произведенных единиц продукции; IRT – идеальная частота выпуска единицы продукции.

$$\text{Показатель качества } L = GP / TP \quad (14)$$

где GP – количество единиц продукции, удовлетворяющих требованиям качества; TP – количество произведенных единиц продукции.

Ведущие современные компании имеют значения ОЕЕ порядка 85-90%.

Целевая функция должна учитывать основные показатели эффективности работы оборудования. При использовании системного подхода к задаче увеличения эффективности ТОиР необходимо организовать непрерывный процесс оценки эффективности ТОиР и адаптивное внесение изменений в процесс ТОиР для получения оптимального значения эффективности функционирования ремонтной службы Em и OEE . Согласно [14], в качестве критерия эффективности работы ремонтных служб может быть взята сумма

$$Em = \sum (Cm_{i,j} + Lp_{i,j}), \quad (15)$$

где $Cm_{i,j}$ – затраты, необходимые для выполнения ремонтных воздействий над элементом i группы оборудования j ;

$Lp_{i,j}$ – производственные потери от его простоя.

Критерием эффективности ТОиР согласно [30, 71] является минимизация затрат Cm на ремонт CR и техническое обслуживание CM ($Cm = CR + CM$) в совокупности с минимизацией производственных потерь Lp из-за неудовлетворительного технического состояния оборудования, а также обеспечение своевременной поставки необходимых ресурсов:

- запасных частей для ремонта оборудования;
- ремонтных специалистов, выполняющих ремонтные воздействия;
- финансовых средств на оплату запасных частей и ремонтных бригад;
- интервала времени, в течение которого оборудование простаивает.

Известно такое противоречие, что низкие затраты на ТОиР приводят к значительным потерям производства и значительной общей сумме расходов. С другой стороны, высокие затраты снижают рентабельность. В работе [14] утверждается, что оптимум соответствует случаю, когда сумма потерь прибавочной стоимости и затрат на ремонты имеет минимальное значение.

Задачи поддержки принятия решения (выбора) в ТОиР характеризуются не-

достатком, неполнотой и неопределенностью информации. Принятие решений часто происходит в динамике, с учетом ограничений на ресурсы при обслуживании. Факторы неопределенности выражаются, например, временем возможного возникновения отказа и неточной локализацией элемента, подлежащего ремонту или обслуживанию.

С формальной точки зрения задача принятия решений может быть охарактеризована следующим кортежем:

$$\langle A, E, S; T \rangle, \quad (16)$$

где A – множество альтернатив;

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.

В соответствии с [116], решаемую задачу поддержки принятия решения в общем виде можно описать в виде модели

$$\langle V, K, X, O \rangle, \quad (17)$$

где V – множество вариантов решений;

K – критерии;

X – множество оценок;

O – набор предпочтений ЛПР.

При этом набор критериев

$$K = \langle C_M, C_R, L_P \rangle, \quad (18)$$

где C_R – затраты на ремонт,

C_M – затраты на техническое обслуживание,

L_P – производственные потери.

Тогда целевую функцию можно записать в виде:

$$\begin{cases} f(C_R, C_M) \rightarrow \min \\ f(L_P) \rightarrow \min \\ OEE \rightarrow \max \end{cases} \quad (19)$$

Рисунок 32 демонстрирует схему решения целевой функции.

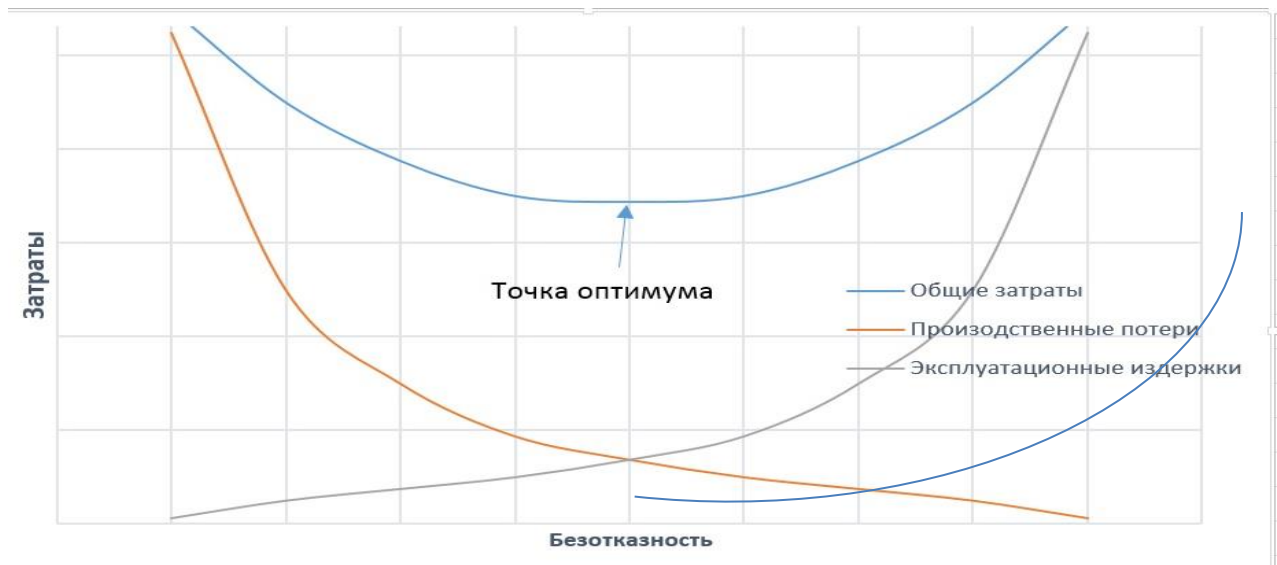


Рисунок 32 – Поверхность решения целевой функции.

В рамках отдельной характерной задачи был выявлен ряд проектных процедур на различных этапах процесса технического обслуживания и ремонта оборудования, для автоматизации которых может быть использован один и тот же математический аппарат. К таким этапам относятся:

- планирование работ по ТОиР;
- организация выполнения работ по ТОиР;
- анализ эффективности выполнения работ по ТОиР;
- прогнозирование выходов из строя оборудования.

На каждом из перечисленных этапов имеются проектные процедуры, для автоматизации которых могут быть использованы одни и те же математические методы. Например, на этапе планирования работ необходимо производить отбор и оценку единиц оборудования для проведения планового ремонта; на этапе организации выполнения работ должна производиться оценка состояния единиц обо-

рудования, на основании чего производится корректировка плана работ; на этапе анализа эффективности выполнения работ производится оценка выполненных работ, формируется информации о качестве планирования и выполнения работ; на этапе прогнозирования выходов оборудования из строя на основании различных критериев формируется прогноз выхода оборудования из строя, который используется при составлении нового плана.

Таким образом, на каждом из перечисленных этапов производится оценка альтернатив при наличии ряда критериев. В теории принятия решений имеется достаточно большое количество методов и алгоритмов для решения задач такого уровня (метод анализа иерархий, метод решающих матриц Поспелова и т.д.).

Использование одного и того же математического аппарата в задачах выбора альтернатив в системе автоматизации технического обслуживания и ремонтов позволит упростить не только процесс разработки системы, но и унифицировать алгоритмы расчета, т.е. будет снижена вероятность ошибки на этапах процесса ТОиР. Однако, для применения методов принятия решений необходимо формализовать решаемые задачи, а именно, определиться со списком альтернатив, критериями и степенями их важности, а также системой предпочтений ЛПР.

Оптимизация работ по ТОиР в целом позволит сократить издержки на складские запасы, понизить аварийность оборудования и тем самым сократить возможные риски остановки производства.

3.2.2. Организация процесса ТОиР с помощью систем сбалансированных показателей и ключевых показателей

Использование новых методик ТОиР становится лишь одним из условий эффективного управления производством вообще и организации ТОиР в частности [76]. Необходимо иметь возможность мониторинга и анализа эффективности ТОиР с помощью показателей эффективности работы. Для понимания текущего уровня эффективности работ по ТОиР и направления дальнейшего их развития и совершенствования необходимо применять специальные метрики, например,

ключевые показатели эффективности, которые объединяются в сбалансированные системы показателей.

Как и в любой области, на эффективность процесса более сильно влияет применение системного подхода, чем применение частных решений. При применении системного подхода достигаются эффективные решения связанных задач, но и синергетический эффект. Путем применения научно обоснованной организации ТОиР возможно достижение следующих основных эффектов: уменьшение числа отказов, простоев и затрат на эксплуатацию оборудования; увеличение срока службы и производительности оборудования.

Для целеориентированного управления используется концепция сбалансированной системы показателей [122] – интегрированной системы стратегических целей, связей между ними, показателей достижения целей, целевых значений, а также стратегических мероприятий.

При использовании системного подхода при организации ТОиР необходимо сформулировать иерархию целей, которые необходимы для достижения глобальных целей – повышение прибыльности, производительности и конкурентоспособности предприятия. На основании иерархии целей необходимо строить систему ключевых показателей эффективности (КПЭ), отражающих текущее положение и уровень достижения сформулированных целей.

Источником данных для построения КПЭ является понимание уровня эффективности работ по ТОиР оборудования на предприятии, что требует проведения анализа оценок эффективности работ. Оценка эффективности (ОЭ) работ выражается как в количественных (например, часов непрерывной работы, или uptime), так и в качественных показателях (например, % выполнения плана). В случае применения компанией практики постоянного совершенствования ТОиР необходимо определять не только ОЭ самих работ ТОиР, но и ОЭ действий по их улучшению, выражаемую в относительных показателях (например, насколько быстрее стали проводиться ремонтные работы, насколько увеличилось время uptime).

При использовании системного подхода к задаче увеличения эффективно-

сти ТОиР необходимо организовать непрерывный процесс оценки эффективности процесса ТОиР и адаптивное внесение изменений в процесс ТОиР для получения оптимального значения эффективности функционирования ремонтной службы *Ем* и КПЭО.

В общем виде можно выделить следующие основные стадии итеративной организации системы ТОиР на основе КПЭ:

- разработка или усовершенствование системы КПЭ;
- проведение работ ТОиР оборудования;
- сбор данных и расчет показателей КПЭ;
- проведение оптимизации работ системы ТОиР оборудования.

Разработка системы КПЭ обычно ведется на основе библиотеки отраслевых показателей. Библиотеки КПЭ ТОиР являются ноу-хау компаний, которые принимают меры к их неразглашению. Можно выделить группы КПЭ ТОиР:

- КПЭ оборудования (объекта ТОиР);
- КПЭ субъектов ТОиР;
- КПЭ процесса ТОиР в целом и его элементов.

К первой группе относятся такие КПЭ как производительность оборудования, показатели надежности оборудования (наработка на отказ, параметры потока отказов и др.), *up-time* оборудования и другие.

Ко второй группе относятся такие КПЭ: среднее время, затрачиваемое ремонтной бригадой на устранение отказа определенного вида и типа оборудования; количество рабочих заданий со срывом сроков окончания и выполненное в срок.

В качестве примеров КПЭ третьей группы можно привести: качество планирования работ по длительности (оценки качества процессов планирования работ ТОиР в части календарных сроков); резерв рабочего времени оборудования (суммарное резервное время, в течение которого оборудование было исправным, но не использовалось по каким-либо причинам); затраты на подрядчиков в плановых рабочих заданиях (суммарные затраты на подрядчиков в плановых рабочих заданиях за отчетный период).

Одним из способов оптимизации затрат является сегментирование оборудо-

вания по группам, и применение к различным группам разных подходов организации их ТОиР. В результате сформулирована задача группировки оборудования по группам ремонтных воздействий и выработка новых подходов к проведению ТОиР. Выделенная задача имеет решения, применимые при поддержке служб ТОиР, но не все из них решены в полной мере, и им необходимо уделить особое внимание.

Основные стадии итеративной организации процесса ТОиР ПрО на основе КПЭ следующие [76, 88]:

- разработка или усовершенствование системы КРІ;
- проведение работ ТОиР оборудования;
- сбор данных и расчет показателей КРІ;
- проведение оптимизации работ системы ТОиР оборудования.

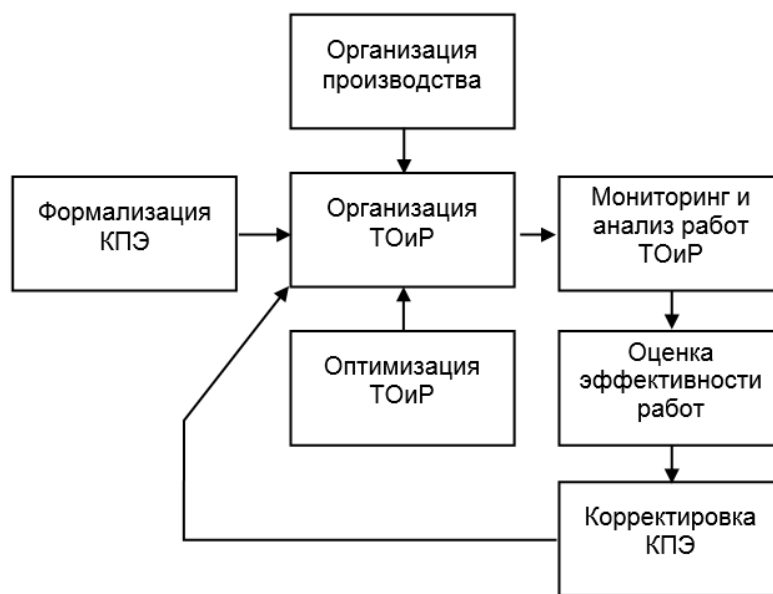


Рисунок 33 – Схема организации системы ТОиР на основе КПЭ.

При этом при возникновении отказа оборудования необходимо проводить следующий алгоритм действий по его предотвращению впредь:

- идентификация проблем, приводящих к возникновению отказа;
- анализ проблемы с целью выявления ее причин, типов отказов, возникающих от отказов эффектов, частоты, серьезности и типа отказов;
- поиск подходящих системных решений (выбор и адаптация известных ме-

тодов решений или разработка новых);

- применение новых решений с измерением их эффективности и сопоставлением со старыми методами.

При этом могут применяться такие методы предотвращения отказов оборудования, как методы RCA (корневой анализ причин отказов), FMECA (анализ видов, последствий и критичности отказов), анализ рисков [21] и др.

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 (важностью его постоянной работы), стоимость ремонта, сроки ТОиР и др.

Для сегментирования фонда и определения очередности выбора, возможно, использовать ряд методов:

- RCM2, матрицы и векторы предпочтений;
- неметрический метод Парето; [102, 103 и др.]
- ГОСТ – показатели системы технического обслуживания и ремонта.

Далее перечислены используемые показатели. Средняя продолжительность технического обслуживания (ремонта) – математическое ожидание продолжительности одного технического обслуживания (ремонта) данного вида за определенные период эксплуатации или наработку. Средняя трудоемкость технического обслуживания (ремонта) – математическое ожидание трудоемкости одного технического обслуживания (ремонта) данного вида за определенные период эксплуатации или наработку. Средняя стоимость технического обслуживания (ремонта) – математическое ожидание стоимости одного технического обслуживания (ремонта) данного вида за определенные период эксплуатации или наработку. Средняя суммарная продолжительность технических обслуживаний (ремонтов) – математическое ожидание суммарной продолжительности технических обслуживаний (ремонтов) за определенные период эксплуатации или наработку.

Средняя суммарная трудоемкость технических обслуживаний (ремонтов) – мате-

математическое ожидание суммарной трудоемкости технических обслуживаний (ремонтов) за определенный период эксплуатации или наработку.

Средняя суммарная стоимость технических обслуживаний (ремонтов) – математическое ожидание суммарной стоимости технических обслуживаний (ремонтов) за определенный период эксплуатации или наработку.

Удельная суммарная продолжительность технических обслуживаний (ремонтов) – отношение средней суммарной продолжительности технических обслуживаний (ремонтов) к заданной наработке.

Удельная суммарная трудоемкость технических обслуживаний (ремонтов) – отношение средней суммарной трудоемкости технических обслуживаний (ремонтов) к заданной наработке.

Удельная суммарная стоимость технических обслуживаний (ремонтов) – отношение средней суммарной стоимости технических обслуживаний (ремонтов) к заданной наработке.

– Коэффициент готовности – вероятность того, что изделие окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение изделия по назначению не предусматривается.

Коэффициент технического использования – отношение математического ожидания суммарного времени пребывания изделия в работоспособном состоянии за некоторый период к математическому ожиданию суммарного времени пребывания изделия в работоспособном состоянии и простоях, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период.

Готовность парка изделий – отношение числа работоспособных изделий к общему числу изделий парка в рассматриваемый момент времени.

Одним из самых важных является показатель "Степень возврата инвестиций" (ROI):

$$ROI = \frac{\text{чистая_прибыль}}{\text{инвестированный_капитал}} \quad (20)$$

Тогда целевую функцию (19) можно записать в виде:

$$\begin{cases} f(C_R, C_O) \rightarrow \min \\ f(L_P) \rightarrow \min \\ OEE \rightarrow \max \\ ROI \rightarrow \max \end{cases} \quad (21)$$

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 (Рисунок 33). 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. 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 более 100 КПЭ ТОиР промышленного оборудования.

Показатели верхнего уровня с целевым поведением:

- 1) Улучшение КПЭ работы ремонтных служб:
 - а) снижение количества аварий, времени устранения их последствий;
 - б) повышение производительности труда ремонтных служб;
 - в) увеличение степени оперативности выполнения восстановительных ремонтов;
 - г) сокращение незапланированных простоев;
 - д) увеличение качества планирования работ на разных уровнях принятия решений;
 - е) увеличение качества организации ремонтов;
- 2) Улучшение КПЭ работы вспомогательных служб:
 - а) Повышение эффективности управления запасами;
 - б) Повышение эффективности снабжения;
- 3) Улучшение КПЭ экономических показателей:
 - а) увеличение КПЭ использования оборудования;
 - б) КПЭ бюджетирования и затрат;
- 4) Повышение степени информированности для принятия решений:
 - а) увеличение контролируемости затрат на ТОиР;
 - б) увеличение наполненности базы знаний об оборудовании;
 - в) увеличение степени полноты истории оборудования в базе;
 - г) увеличение обоснованности оценок стоимости ремонтных работ;
 - д) увеличение информированности о состоянии поставок МТР.

Для расчета значений КПЭ требуются данные о происходящих событиях, связанных с характеристиками процесса ТОиР и состояния оборудования на предприятии, что требует организацию автоматизированного процесса сбора и

накопления таких данных. Необходимо организовать сбор информации на каждом этапе проведения работ по ТОиР, а также применять особые требования к форме и содержанию данных, собранных в рамках работ ТОиР.

Для обработки и систематизации полученных данных целесообразно использовать ряд методик, входящих в состав задач общего подхода к обработке данных класса Data Mining, таких как:

- обнаружение аномальных данных;
- использование ассоциативных правил;
- анализ последовательностей;
- классификация;
- кластерный анализ;
- факторный анализ;
- регрессионный анализ;
- анализ структурных данных;
- деревья решений.

3.3 Формальная постановка задачи выбора стратегии ТОиР

Многие из математических моделей технического обслуживания сложной системы можно описать следующей общей схемой [37].

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 (гауссовский случайный процесс, ошибки). Обозначим через $\overline{R(t)}$ векторную неслучайную функцию, имеющую ту же размерность, что и $Z(t)$, 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 $\delta_{ti}(Z_{ti})$, $i = 0, 1, 2, \dots$ решение на управление процессом $Z(t_i)$ в момент t_i . Назовем набор решений

$$\delta_m(Z_m) = \{\delta_1(Z_1), \delta_2(Z_2), \dots, \delta_k(Z_k = Z_T)\} \quad (22)$$

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 $\delta_T(Z_T) = \delta \cdot T(Z_T)$, минимизирующей математическое ожидание функционала потерь на периоде эксплуатации $(0, T)$, т.е. обеспечивающей

$$\min_{\delta_T} M[\Phi\{R(t)\}] \rightarrow \min. \quad (23)$$

3.4 Поддержка принятия решения о выборе стратегий ТОиР оборудования

«Исследование операций представляет собой искусство давать плохие ответы на практические вопросы, на которые даются еще худшие ответы другими методами».

Т. Саати

При выборе варианта действия, связанного с обеспечением рациональной эксплуатации оборудования, лицо, принимающее решение (ЛПР), принимает, по сути, управленческое решение. Управленческое решение – это центральное звено управленческого цикла, продукт анализа, прогнозирования, обоснования, оптимизации и выбора альтернативы [95], выполненных на основе переработки информации лицом, принимающим решение. Процесс принятия решения характеризуется комплексом “интегральных” процессов интеллектуальной деятельности ру-

ководителя и его аппарата управления, целесообразной организацией, научно обоснованными технологиями.

Согласно [95], к управленческим решениям предъявляются требования:

- своевременность выработки, принятия и реализации. Это способствует решению возникающих проблем и недопущению их обострения или превращению деятельности персонала в бесполезную;
- наличие механизма реализации, т. е. цели действия, задачи подчиненным и порядка их выполнения; а также организации, мотивации, контроля, возможности определять необходимые организационные изменения в системе, предназначенной для достижения целей;
- оптимальность — обеспечение максимальной отдачи от потенциальных возможностей в процессе реализации решения;
- возможность быть реализованными, т. е. обеспеченными соответствующими ресурсами (управленческими, материальными, человеческими, правовыми и т. д.); недопущение конфликтов, соответствие используемой в организации психологии управления;
- гибкость — возможность изменения, коррекции решения при изменении условий, ситуации;
- возможность верификации и контроля исполнения;
- оригинальность;
- содержание необходимой информации для подчиненных;
- понятность по форме и обоснованность.

Основными требованиями согласно [95] являются своевременность принятия, потребность в установлении механизма реализации, оптимальность, реализуемость, гибкость, возможность верификации и контроля исполнения, оригинальность и содержательность.

Наиболее общими этапами процесса принятия решения являются работа с информацией (прием, обрабатывание, представление и распознавание ситуации), подготовка вариантов решения, а также оценка эффективности выбранного варианта и принятого решения. Каждый этап характеризуется специфическими опера-

циями и процедурами деятельности лиц, принимающих решения, в различных условиях (определенности, риска и неопределенности).

Принятие решения — основная функция управления, которая взаимосвязана со всеми основными функциями, определяет их содержание, объем ресурсов и полномочий по их реализации. Ниже (Рисунок 34) показана схема процесса принятия управленческого решения.

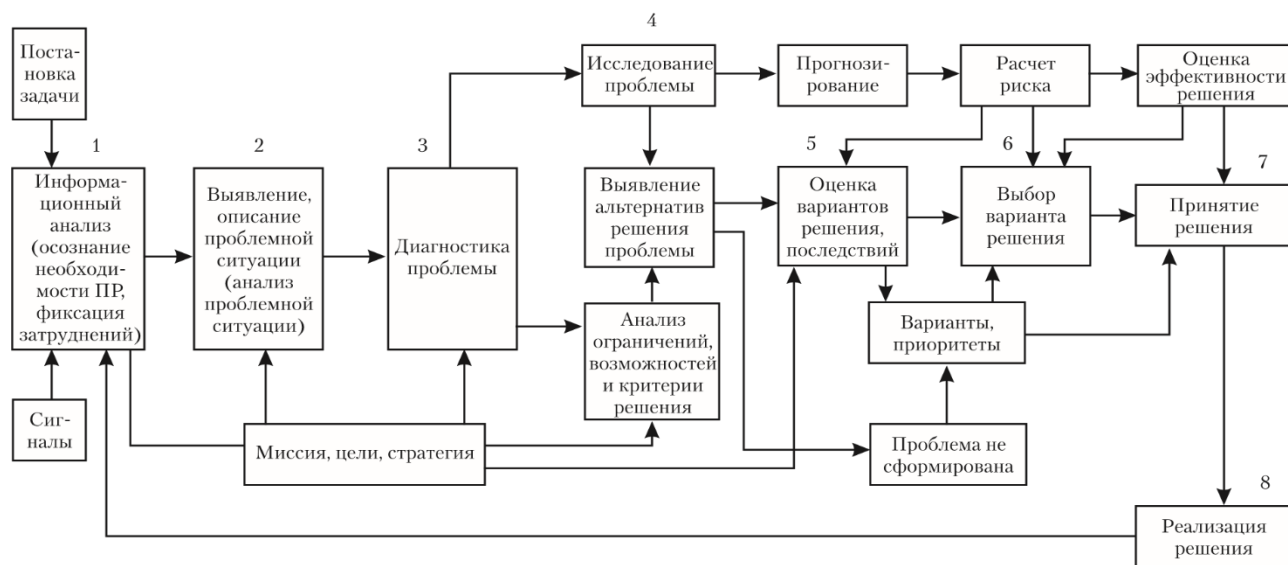


Рисунок 34 – Этапы процесса принятия управленческого решения.

Модели принятия инвестиционных решений классифицируют на основе проявления элементов моделей по состоянию внешней среды и функциям результативности, уровню действий и цели, по времени [116] (Таблица 3).

Таблица 3 – Классификация моделей принятия решений

Критерий	Уровни проявления			
(Не) определенность	Определенность		Неопределенность	
			полная	ситуация риска неясность
Альтернатива	Единичное решение			Программное решение
	абсолютная выгода	относи- тельная выгода	срок эксплу- атации	

Цели	Одна цель	Несколько целей		
Времени	Статическая модель	Динамическая модель		
		одноступенчатая	многоступенчатая	
			жесткая	гибкая

При возникновении каждого отказа оборудования у специалистов по техническому обслуживанию рекомендуются возникают такие вопросы [4]:

- рассматриваются ли экономические производственные аспекты?
- как учитывается экономика бизнеса?
- как учитываются возможные потери прибыли?
- на самом ли деле происходит отказ машины?
- что делать, приходится удлинить производственный цикл из-за непредвиденных дополнительных заказов?

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:
 - а) Реактивный ремонт
 - б) Плановое обслуживание
 - в) Проактивное обслуживание:
 - i) обслуживание по состоянию на основе мониторинга/диагностики
 - ii) предупредительное обслуживание на основе прогнозных данных
- 4) Анализ выбранной стратегии:
 - а) Определение ремонтных воздействий с учетом рисков.
 - б) Минимизация затрат на организацию обслуживания ПрО при выполнении производственной программы.
- 5) Реализация выбранной стратегии.

3.4.1. Прогнозирование состояния оборудования для выбора стратегии предупредительного обслуживания

Задачи планирования и прогнозирования тесно взаимосвязаны. Прогнозирование отказов оборудования позволяет определить сроки проведения ТОиР, а планирование – непосредственно осуществить ТОиР в определенный промежуток времени необходимыми силами с использованием нужных запасных частей и расходных материалов.

Одной из основных задач автоматизированной системы программно-информационной поддержки ТОиР является рациональное прогнозирование, планирование и учет работ по ТОиР оборудования. Соответственно, проведение работ по ТОиР должно с использованием средств автоматизации осуществляться в три этапа [73]:

1) Прогнозирование возможных отказов оборудования.

При проведении работ по ТОиР на практике прогнозирование, как правило, выполняется путем выставления экспертных оценок по каждому виду и единице оборудования. Используя автоматизированную систему ТОиР, можно составлять прогнозы в автоматизированном виде и, корректируя экспертные оценки, применять их для составления планов и графиков проведения ТОиР.

2) Планирование проведения работ по ТОиР.

Как и «ручной» так и автоматизированный вариант выполнения данного этапа заключается в построении планов и графиков выполнения работ по ТОиР с использованием наборов критериев и ресурсов. Отличительной чертой автоматизированного построения планов является возможность быстрого составления планов, используя разные наборы критериев и ресурсов для поиска максимально эффективного варианта проведения работ по ТОиР.

3) Учет проведенных работ по ТОиР.

Ведение учета проведенных работ по ТОиР с использованием программно-информационных систем позволяет:

1) Формировать историю проведения работ по ТОиР для дальнейшего использования при автоматизированном составлении прогнозов проведения будущих работ по ТОиР.

2) Получать аналитику в различных разрезах по результатам проведенных работ ТОиР.

Виды прогноза можно разделить на конечный прогноз работ ТОиР оборудования и составной прогноз, в котором первым этапом осуществляется создание прогноза значения характеристик оборудования, а вторым этапом – прогноза работ ТОиР оборудования.

Можно выделить группы методов прогнозирования работ ТОиР ПрО:

1) Нормативный метод. Используя нормативную документацию по соответствующему виду оборудования, можно составить прогноз работы оборудования и необходимых работ по ТОиР.

2) Использование шаблонов ранее произошедших событий. Используя историю проведенных работ или данные получаемые со SCADA систем, можно определить периодичность проведения работ по ТОиР или закономерности поведения характеристик оборудования. С использованием выделенного периода проведения работы по ТОиР можно осуществить прогнозирование проведения работ ТОиР по данному оборудованию и анализируемому виду работ. Используя период поведения выделенной характеристики оборудования, рассчитывается завершенность текущего цикла и составляется прогноз окончания цикла, и как результат – прогноз проведения работ по ТОиР оборудования.

3) Методы аппроксимации. Рассчитывается аппроксимационная модель для истории характеристики оборудования. Определяется закономерность поведения той или иной характеристики. Используя рассчитанные модели характеристик различного оборудования, составляется прогнозирование значений характеристик оборудования и в результате составляется прогноз для проведения работ по ТОиР оборудования.

4) Методы экстраполяции. Выбирается метод экстраполяции из заданного набора методов, дающий наиболее качественный прогноз на исторических

данных характеристик оборудования. Рассчитывается прогноз поведения характеристик оборудования на основе выбранного метода, и в результате получается прогноз для проведения работ по ТОиР оборудования. При отсутствии данных о прогнозируемой характеристике оборудования можно использовать корреляцию по известным прочим характеристикам данного оборудования.

5) Анализ корреляций. Проводится изучение зависимости известных характеристик оборудования и событий превышения допустимых отклонений исследуемой характеристики. Составляется прогноз поведения характеристики оборудования на основании прогноза поведения известной характеристики.

При использовании автоматизированных методов формирования прогнозов работ по ТОиР оборудования, в совокупности с учетом проведенных работ, в рамках информационной системы можно повысить скорость составления и качество планов проведения работ по ТОиР оборудования.

При построении планов работ по ТОиР целесообразно использовать методы поддержки принятия решений. В общем виде задача принятия решений на различных этапах при автоматизации процесса ТОиР сформулирована в [77]. В данной работе рассмотрим методы ППР при формировании очередей оборудования для обслуживания и ремонта на основании полученных прогнозных значений показателей, выходящих за пределы допустимых отклонений.

Наибольшее распространение получили методы поддержки принятия решений, основанные на использовании экспертных оценок и относительных предпочтений одних видов работ по ТОиР другим [68]. Многокритериальное планирование, наряду с экспертным формированием целевых постановок высококвалифицированными специалистами, способствует объективному и формализованному решению поставленных задач, установлению порядка ремонта однородных групп оборудования по принятым критериям ремонтпригодности и экономической целесообразности. Алгоритм многокритериального планирования ремонтных очередей предполагает использование различных методов принятия решения [69].

Целевые устремления специалиста по планированию ремонтов могут задаваться совокупностью показателей ремонтпригодности оборудования и различ-

ными критериальными требованиями для постановки оборудования в очередь на ремонт. Несравнимость показателей ремонтпригодности не исключает для ее разрешения привлечения дополнительной информации в качестве волевых решений специалиста, исходя из накопленного опыта, а так же знания текущей и будущей ситуации. Критериями предпочтения являются правила, позволяющие сравнить между собой оборудование. Каждое из них характеризуется совокупностью значений показателей ремонтпригодности. Задание правил также позволяет исключить из рассмотрения то оборудование, которое достаточное время еще будет сохранять свое работоспособное состояние. Информация о перспективах работоспособности оборудования берется из результатов прогнозирования.

Состояние оборудования можно описать как

$$Ec = \{ECond, EStruct\}, \quad (24)$$

где $EStruct$ – структура сложного оборудования,

$$ECond = \{N, DL, S\}, \quad (25)$$

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.

При определении состояния по мониторингу используются показания контрольно-измерительного прибора (КИП). При этом

$$ECond = \{X, Y, VCond\}, \quad (26)$$

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.

$$X = \{X_0, \Delta X, Cond\}, \quad (27)$$

где X_0 – фиксированное значение показания КИП; ΔX – смещение значения показания КИП относительно фиксированного значения; $Cond$ – состояние оборудования.

$$Y = \{Y_t, \Delta Y, Cond\}, \quad (28)$$

где Y_t – закон изменения значений показания КИП; ΔY – смещение значения показания КИП относительно значения подчиняющегося закону Y_t .

$$VCond = \{Y_{cn}, Y_{cr}\},$$

где Y_{cn} – закон нормального изменения показаний контрольно КИП; Y_{cr} – график реального изменения показаний мониторинга по времени.

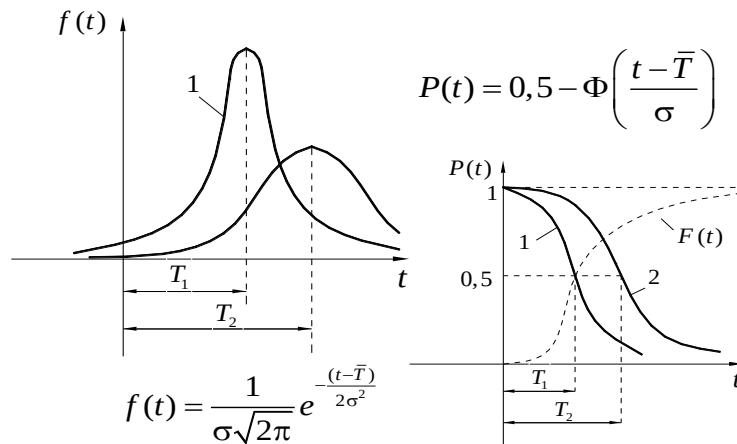


Рисунок 35 – Основные характеристики нормального закона распределения.

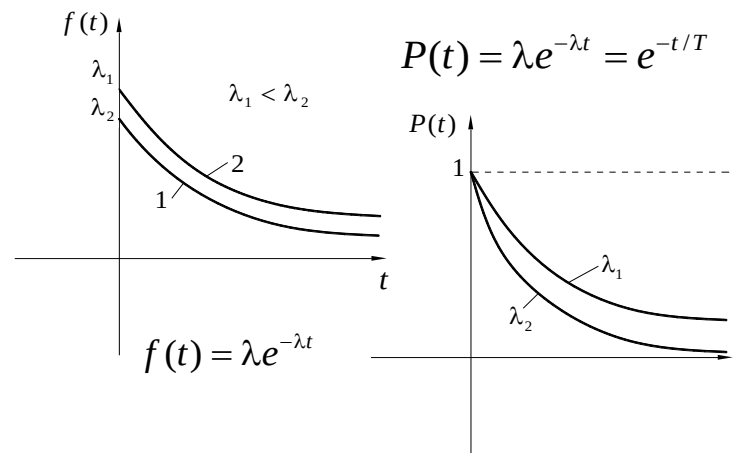


Рисунок 36 – Основные характеристики экспоненциального закон распределения.

Вероятности отказов сложных объектов:

$$F(t) = F_1 \cdot F_2 \cdot \dots \cdot F_m = \prod_{i=1}^n F_i \quad (29)$$

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = 1 - F(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (30)$$

где $F_1, F_2, \dots, F_m$ – вероятность появления отказа каждого из элементов за время T .

В зависимости от мощности доступных вычислительных средств можно использовать различные модификации модели. Если предприятие располагает достаточными вычислительными средствами, то состояние оборудования оценивается каждый раз с учётом всех изменений в статистике оборудования. Расчёт состояния оборудования выполняется для всех конечных элементов структуры оборудования, для которых имеется достаточное количество статистических данных. Под конечными элементами оборудования подразумевается оборудование, которое является неразборным или не имеет составных частей. Для составных и разборных объектов расчёт состояния производится на основе теории вероятности.

Алгоритм прогнозирования состояния оборудования:

- 1) расчёт значения наработки оборудования на достижение критичной вероятности отказа:
 - а) выбор объекта прогнозирования состояния;
 - б) выбор критичной вероятности отказа объекта;
 - в) выбор наиболее подходящего закона распределения вероятности отказа объекта;
 - г) получение статистики отказов для выбранного объекта;
 - д) вычисление значения наработки оборудования на достижение критичной вероятности отказа.
- 2) расчёт даты проведения спрогнозированного выхода объекта из строя:
 - а) расчёт разницы между текущей наработкой объекта и наработкой на отказ;
 - б) расчёт даты достижения наработки на отказ.

Такой подход может значительно снизить нагрузку на вычислительные ресурсы предприятия. На основе прогноза формируется план диагностики и проведения работ по ТОиР.

3.5 Когнитивное моделирование факторов организации ТООП

С помощью когнитивного моделирования можно проиграть различные сценарии изменения системы организации ТООП на предприятии при изменении отдельных факторов [60, 118]. Когнитивное моделирование позволяет в экспресс режиме в короткие сроки на качественном уровне:

- оценить ситуацию и провести анализ взаимовлияния действующих факторов, определяющих возможные сценарии развития ситуации;
- выявить тенденции развития ситуаций и реальные намерения их участников;
- разработать стратегию использования тенденций развития ситуации;
- определить возможные механизмы взаимодействия участников ситуации для достижения ее целенаправленного развития;
- выработать и обосновать направления управления ситуацией;
- определить возможные варианты развития ситуации с учетом последствий принятия важнейших решений и сравнить их.

Когнитивное моделирование используется для:

- первичного получения модели и при изменении отдельных факторов;
- исследования различных сценариев изменения системы организации ТООП;
- оценки ситуации и анализа взаимовлияния действующих факторов.

Что касается аппарата моделирования, используются когнитивные карты ситуации [97], с положительными и отрицательными обратными связями. При положительной связи увеличение значения фактора-причины приводит к увеличению значения фактора-следствия, а при отрицательной – к уменьшению этого значения.

Когнитивная модель ситуации представляется в виде ориентированного знакового графа $KG = \langle V, A, F \rangle$, где V – множество вершин(концептов), A – множество дуг (связей между концептами); $F = \{+, -\}$ – множество знаков дуг; – и задается матрицей смежности $W = \{w_{ij}\}$, $w_{ij} \in \{-1, 0, 1\}$.

Однако, согласно [97] классическая когнитивная модель с помощью обычных знаковых графов имеет ряд недостатков. В частности, согласно [151], она обладает недостаточной гибкостью, не позволяя ранжировать по степени влияния положительные и отрицательные связи, особенно в условиях многоцелевого задания критериев. Поэтому Б. Коско и др.[12] ввели понятие нечетких когнитивных карт, представляющих собой взвешенные ориентированные графы. В нечеткой когнитивной карте каждая дуга определяет не только направление и характер, но также и степень влияния связываемых концептов (вес отношения между ними).

Наиболее распространение получило использование знаков дуг между концептами из интервала $[-1,1]$. Тогда согласно [151] расширенную когнитивную карту можно представить в виде нечеткого графа

$$KFG = \langle V, A, F', w \rangle, \quad (31)$$

где V – множество вершин (концептов), A – множество дуг (связей между концептами); $F' = \{+, -, (+, -), ?\}$, а $w: V \times V \rightarrow [-1, 1]$.

Изменение значений факторов во времени описано в работе [27].

Было проведено исследование ситуации системы организации ТООР на ремонтном предприятии. Составлены табличная (матрица смежности; фрагмент таблицы факторов когнитивной модели – см. Рисунок 37) и графовая когнитивная модель (Рисунок 38). Автор выражает благодарность Заболотскому М.А. и Тихонину А.В. за предоставленное программное средство.

Затраты на покупку комплектующих	0	0	-0.3	-0.1	0.3	0	0	0	0	0	0	0
Затраты на ЗП работникам	0		-0.1	-0.1	-0.1		-0.3	+0.3		+0.7	+0.1	0
Количество поломок	+0.5	0		+0.7	-0.3	+0.1	0	0	0	0	0	0
Часов простоя	?	0	0		-0.7	0.3	0	0	0	0	0	0
Прибыль компании	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
Объем ЗЧ на складе	?	0	-0.5	-0.7	-0.7		0	0	0	0	0	0
Текучесть кадров	?	?	+0.1	+0.3	?	?		0	-0.5	+0.5	-0.3	0
Количество персонала	0	+0.5	-0.1	-0.1	-0.1	0	+0.1		0	+0.3	0	-0.1
Квалификация персонала	0	+0.3	-0.3	-0.3	+0.3	0	-0.1	0		+0.3	+0.1	0
затраты на обучение персонала	0	0	-0.1	-0.3	0	0	-0.1	0	+0.3		+0.1	0
мотивация персонала	0	+0.3	-0.1	0	-0.1	0.3	-0.1	0	0	0		+0.1
количество часов работы	-0.1	+0.3	-0.1	0	+0.1	-0.1	+0.1	0	-0.1	0	-0.3	0
степень автоматизации труда	0	0	0	0	0	0	-0.3	-0.1	0	+0.1	0	-0.1

Рисунок 37 – Матрица смежности факторов когнитивной модели (фрагмент).

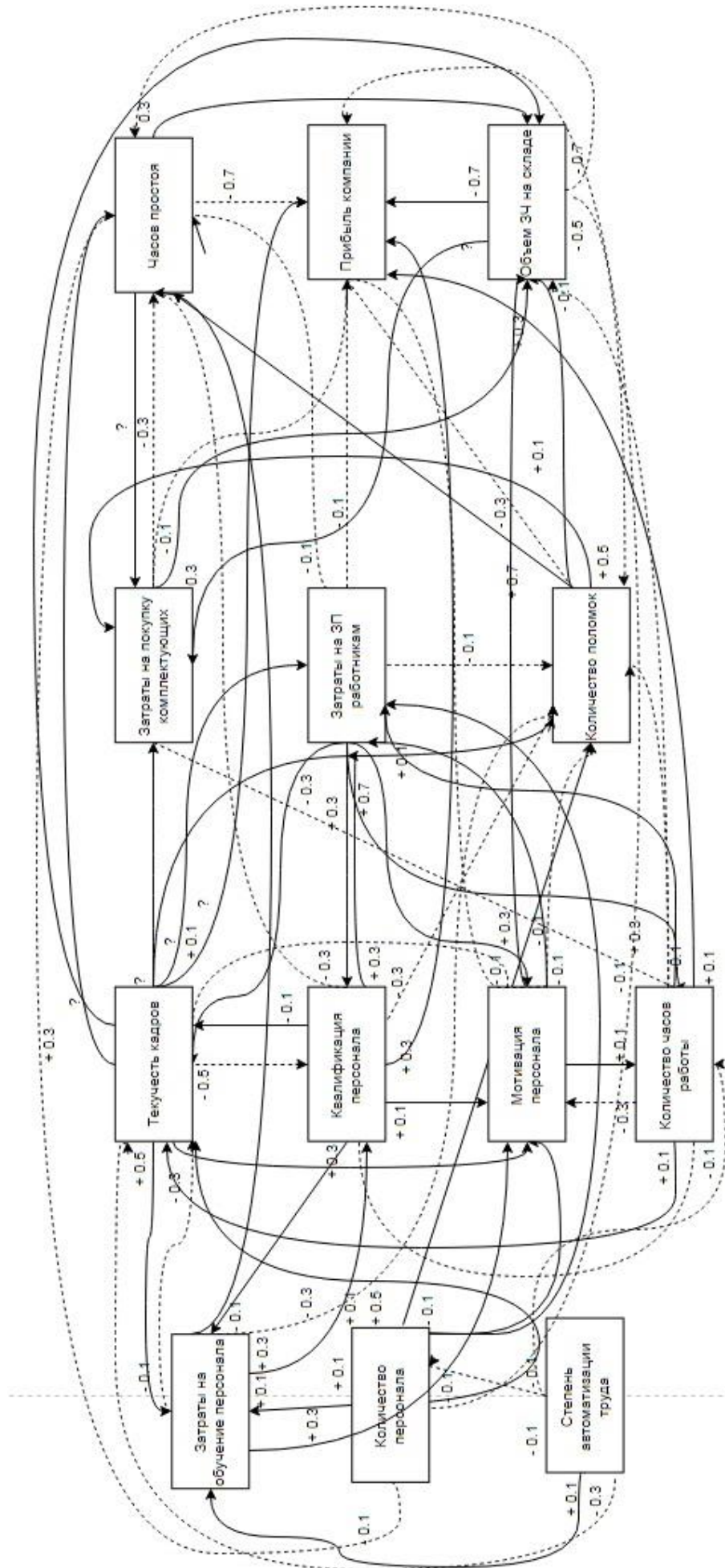


Рисунок 38 – Когнитивная модель ТОиР Про (фрагмент).

3.1 Сбор и препроцессинг параметров оборудования

На предприятиях, работающих в различных отраслях промышленности, актуален вопрос сбора информации о состоянии оборудования. Размеры предприятия и количество единиц оборудования обуславливают сложность, долговременность процесса сбора информации об оборудовании и высокую затратность содержания большого числа специалистов, а также расходных материалов и запасных частей. Для решения данной задачи предлагается использовать элементы подхода автоматизации препроцессинга данных большого объема, описанных в работе [99]. Данная задача разрабатывалась для применения в европейском центре ядерных исследований ЦЕРН. Масштаб технической системы обуславливает запас методологических подходов для разработки систем мониторинга для технических систем и комплексов промышленного оборудования для предприятия меньшего масштаба.

В связи с распределенностью процессов обработки данных, в качестве основы системы сбора параметров состояния оборудования предполагается использовать модель мультиагентной системы базовых элементов сбора и обработки информации. Подобный подход позволит организовать вертикально-ориентированную информационную структуру, формирующую информационный поток от источников информации о параметрах до конечных потребителей (инженеров и подразделений, ответственных за мониторинг состояния оборудования). Выделение информационной среды в виде набора агентов позволит решить один из недостатков существующих систем сбора показателей, а именно существенно упростить масштабирование системы, реконфигурацию или свертывание отдельных зон обслуживания. Обособление агентов как независимых элементов многоагентной сети позволит назначить персонализированные методы управления и обработки информации, что в свою очередь повысит интеллектуальность всей системы препроцессинга данных.

Для решения задачи обработки данных в условиях недостатка информации, обусловленного неидеальностью элементов технической системы и каналов пере-

дачи данных, предлагается использовать предложенную Рао и Джоржеффом модель делиберативного BDI-агента [19], опирающуюся на использовании CTL-логики вычислительных деревьев, в которой каждому времени приписывается некоторая ситуация, характеризующаяся тремя множествами миров: миров убеждений, желаний и намерений. В основу процессов формирования возможных миров убеждений положено использование дерева принятия решений агентом. Предлагаемая МАС должна обеспечивать перерасчет исходных параметров в масштабах реального времени за счет распределенного подхода к организации вычислений. Применение этой модели в системе автоматизации ремонта и обслуживания повысит степень автоматизации сбора и обработки информации о состоянии оборудования. Подробнее – см. п.4.3.

3.2 Поддержка принятия решения о модернизации оборудования с учётом новых условий производства

Задача модернизации оборудования имеет высокую важность и должна быть учтена при организации ТОиР. Причиной модернизации оборудования может быть модернизация самого предприятия, маркетинговые причины, изменения в экологических требованиях и др.

Одна и та же производственная задача может быть решена с помощью большого числа различных вариантов конструкций, отличающихся между собой в конструктивно-технологическом отношении и по уровню их экономической эффективности. Детальный экономический анализ позволяет конструктору, технологу, экономисту, ремонтнику выбрать и использовать наиболее рациональный вариант конструкции, который даст максимальный эффект при минимальных затратах. На основании экономического анализа проекта в сравнении с уже используемыми вариантами представляется возможным определить уровень прогрессивности новой конструкции и предотвратить появление отсталой и малоэффективной техники, исключив нерациональное использование производственных ресурсов в народном хозяйстве [157].

Алгоритм метода ППрР о модернизации имеющегося оборудования с учётом новых условий производства:

- 1) Сбор исторической информации по объекту.
- 2) Оценка показателей надежности:
 - а) интенсивности отказов λ ;
 - б) средней наработки на отказ MTBF (или параметра потока отказов $\omega(t)$), и др.
- 3) Принятие решения об изменении конструкции обслуживаемого объекта:
 - а) оценка степени возврата инвестиций ($ROI \rightarrow \max$) и истории ремонтных воздействий;
 - б) анализ причин и критичности отказов.
- 4) Формирование ТЗ на модернизацию и внесение изменений в конструкцию оборудования (собственное изготовление, либо предоставление модели изготовителю).

Для ППрР решено применять кроссплатформенную библиотеку методов.

3.3 Разработка библиотеки методов принятия решения

На начальном этапе работы требовалось определить, какие именно методы следует реализовывать. При этом следовало учесть следующий аспект: выбранные методы должны максимально полно охватывать все возможные ситуации выбора. Для того, чтобы сделать систему методов универсальной, были рассмотрены следующие варианты задач принятия решения:

- задачи принятия решения в условиях определенности, риска и неопределенности – в зависимости от количества и качества исходных данных;
- задачи однокритериального и многокритериального выбора – в зависимости от количества параметров, по которым производится оценка альтернатив;
- задачи выбора с учетом приоритета и без-, в зависимости от того, существует ли информация о важности критериев относительно друг друга или нет.

После изучения литературных источников по данной тематике данные о

различных методах были систематизированы и представлены в виде таблиц. Сначала были проанализированы условия применимости методов и возможные ограничения (Таблица 4). Затем для описанных методов были рассмотрены достоинства и недостатки (Таблица 5 и Таблица 6), на основании чего была выделена группа методов для дальнейшей разработки.

Таблица 4 – Условия применимости и ограничения методов

Название метода	Условия применимости	Ограничения на применимость
Выбор в условиях определенности		
Метод Парето	Нет информации о важности критериев, существует численная оценка альтернатив по каждому критерию	Нет
Лексикографический метод	Есть информация о важности критериев в виде численных оценок, существует численная оценка альтернатив по каждому критерию	Количество критериев не должно превышать 2-3
Метод функций предпочтения	Есть информация о важности критериев в виде численных оценок, существует численная оценка альтернатив по каждому критерию	Нет
Метод анализа иерархии	Есть информация о важности критериев в виде численных оценок, существует разбиение критериев на группы, каждая из которых имеет свою важность, существует численная оценка альтернатив по каждому критерию	Требуется согласованность матриц, то есть лучше всего использовать количественные оценки без использования шкалы предпочтений
Метод простого аддитивного взвешивания	Нет информации о важности критериев, существует численная оценка альтернатив по каждому критерию	Следует применять только при однородных оценках (одного порядка, или по одной шкале)

Название метода	Условия применимости	Ограничения на применимость
Метод средних оценок	Нет информации о важности критериев, существует численная оценка альтернатив по каждому критерию	Следует применять только при однородных оценках (одного порядка, или по одной шкале)
Метод средних рангов	Нет информации о важности критериев, существует численная оценка альтернатив по каждому критерию	Нет
Выбор в условиях риска и неопределенности		
Метод функций полезности Неймана-Монгерштерна	Отсутствует численная оценка альтернатив по каждому критерию, нет информации о важности критериев, существует матрица возможных исходов с указанием вероятности каждого исхода	Применим только при однокритериальном выборе
Метод оценки по критерию Вальда	Отсутствует численная оценка альтернатив по каждому критерию, нет информации о важности критериев, существует матрица возможных исходов без указания вероятности каждого исхода	Применим только при однокритериальном выборе
Метод оценки по критерию Лапласа	Отсутствует численная оценка альтернатив по каждому критерию, нет информации о важности критериев, существует матрица возможных исходов без указания вероятности каждого исхода	Применим только при однокритериальном выборе
Метод оценки по критерию максимакса	Отсутствует численная оценка альтернатив по каждому критерию, нет информации о важности критериев, существует матрица возможных	Применим только при однокритериальном выборе

Название метода	Условия применимости	Ограничения на применимость
	исходов без указания вероятности каждого исхода	
Метод оценки по критерию Сэвиджа	Отсутствует численная оценка альтернатив по каждому критерию, нет информации о важности критериев, существует матрица возможных исходов без указания вероятности каждого исхода	Применим только при однокритериальном выборе
Метод оценки по критерию Гурвица	Отсутствует численная оценка альтернатив по каждому критерию, нет информации о важности критериев, существует матрица возможных исходов без указания вероятности каждого исхода	Применим только при однокритериальном выборе

Таблица 5 – Достоинства и недостатки методов в условиях определенности

Название метода	Недостатки метода	Достоинства метода
Метод Парето	Не учитывает важность критериев относительно друг друга, допускает равнозначность альтернатив в итоговом ранжировании	Сравнительно высокая точность
Лексикографический метод	Неприменим при большом количестве критериев, большинство оценок не учитывается, допускает равнозначность альтернатив в итоговом ранжировании	Прост в реализации (на основе сортировки)
Метод функций предпочтения	Требуется нормирование оценок, что влечет дополнительные вычисления	Более точен и универсален, чем лексикографический
Метод анализа иерархии	Требуется сложных вычислений	Максимально точен, учитывает важность групп критериев

		ев
Метод простого аддитивного взвешивания	Не учитывает неоднородность оценок, в противном случае требуется нормализация	Прост в реализации (на основе суммирования оценок)
Метод средних оценок	Не учитывает неоднородность оценок, в противном случае требуется нормализация	Прост в реализации (на основе нахождения среднего арифметического оценок)
Метод средних рангов	Требуется дополнительное определение рангов (упорядочивание) альтернатив по каждому критерию	Более точен, чем методы средних оценок и аддитивного взвешивания

Таблица 6 - Достоинства и недостатки методов в условиях риска и неопределенности

Название метода	Недостатки метода	Достоинства метода
Метод функций полезности Неймана-Монгерштерна		Учитывает вероятность исходов
Метод оценки по критерию Вальда	Не учитывает вероятность исходов, слишком пессимистичен и осторожен	Исключает все риски, так как оценка производится по наихудшему варианту
Метод оценки по критерию Лапласа	Не учитывает вероятность исходов и уровень риска	Подходит для ситуации, когда нет никакой информации о развитии ситуации, прост в реализации (на основе среднего арифметического)
Метод оценки по критерию максимакса	Не учитывает вероятность исходов, слишком оптимистичен	Позволяет оценить наилучший возможный результат
Метод оценки по критерию Сэвиджа	Требуется дополнительных вычислений на пересчет матрицы возможных потерь	Учитывает риск за счет вычисления возможных потерь, более точен, чем оценка по критериям Вальда и максимакса

		макса
Метод оценки по критерию Гурвица	Требует дополнительных входных данных – оценки уровня риска (можно по умолчанию выбрать равным 0.5)	Наиболее точен, учитывает риск с заданным уровнем, учитывает и максимальные потери, и максимальные выигрыши

Помимо требования к максимальному охвату возможных вариантов, также накладывается ограничение на количество методов – для того, чтобы разработчикам других модулей системы было легче принимать решение, в какой ситуации какой метод лучше применить, было решено создать библиотеку из 8-ми методов.

Выбранные на основании приведенных таблиц методы и их основные характеристики представлены далее.

Таблица 7 – Состав библиотеки методов поддержки принятия решений

Название метода	Условия применения метода	Ситуация, в которой следует применять метод
Метод Парето	Определенность	Нет информации о приоритетах критериев
Лексикографический метод	Определенность	2-3 критерия, есть информация о приоритетах критериев
Метод функций предпочтения	Определенность	Множество критериев, есть информация о приоритетах
Метод анализа иерархии	Определенность	Множество критериев, поделенных на группы, есть информация о приоритетах групп и критериев внутри групп
Метод средних рангов	Определенность	Множество критериев, оценки по ним не сильно различаются
Метод функций полезности Неймана-Монгерштерна	Риск	Нет оценок альтернатив по критериям, есть информация о возможных исходах и их вероятностях
Метод оценки по критерию Лапласа	Неопределенность	Нет оценок альтернатив по критериям, есть информация о возможных исходах
Метод оценки по	Неопределенность	Нет оценок альтернатив по крите-

Название метода	Условия применения метода	Ситуация, в которой следует применять метод
критерию Гурвица		риям, есть информация о возможных исходах и приемлемом уровне риска

Данные методы достаточно полно охватывают область возможных ситуаций выбора, имеют разную степень сложности и разные наборы входных данных, однако, при некоторых условиях их можно привести к универсальной форме.

Таким образом, была произведена оценка некоторых методов принятия решения, на основании этой оценки были выбраны методы для дальнейшей реализации. Были проанализированы условия применимости методов и возможные ограничения, достоинства и недостатки, на основании чего была выделена группа методов для разработки. Сформированы требования и реализована библиотека методов поддержки принятия решений. Рассмотрены наиболее важные особенности программной реализации библиотеки методов, позволяющих сделать библиотеку универсальной. В Приложении Г описаны разработанные методы, приводится программный код методов, реализующих алгоритмы принятия решений, а также вспомогательных функций.

Приведены примеры решения задач принятия решения вручную с последующей проверкой средствами реализованной библиотеки. Исходя из требований максимальной переносимости и возможности исполнения распределенными программными агентами, языком программной реализации методов был выбран язык высокого уровня Java, так как именно на нем реализовывается модуль поддержки принятия решения, и среда разработки IntelliJ IDEA.

3.4 Планирование работ по ТОиР

Так как любой прогноз состояния оборудования на основе статистики имеет определённую степень доверия, проведение всех спрогнозированных работ согласно предполагаемым срокам может привести к неоправданным временным и

финансовым затратам. С целью предупредить проведение необоснованных работ проводится диагностика, сбор и препроцессинг данных (Рисунок 39).

На необходимость проведения предварительной диагностики могут оказывать влияние следующие факторы:

- сложность проведения диагностики (специализированный персонал);
- специфика проведения диагностики (специализированные средства, предварительные работы);
- стоимость проведения диагностики;
- продолжительность проведения диагностики;
- критичность проведения работы.

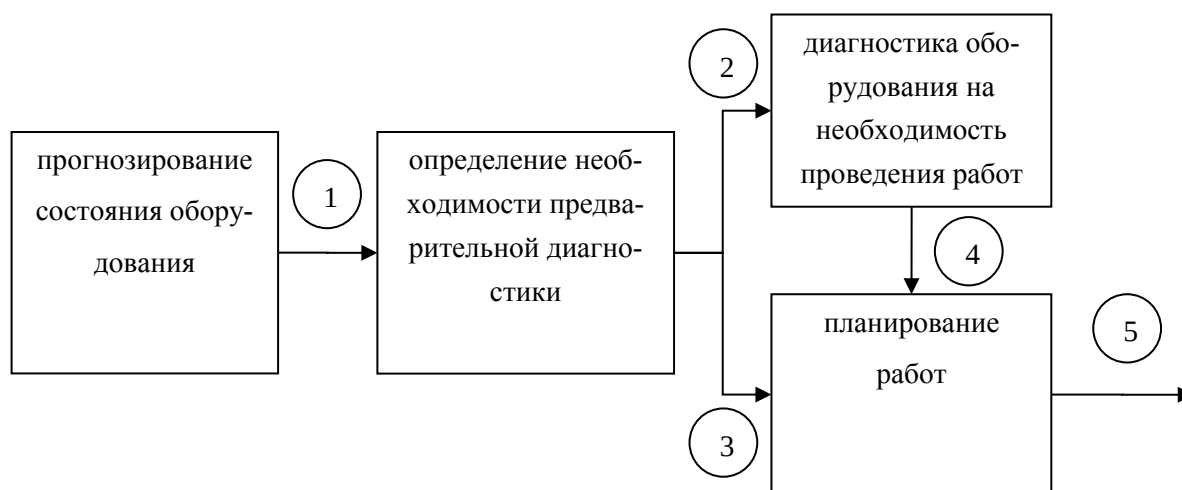


Рисунок 39 – Последовательность формирования плана работ на основе прогноза

(1 – список спрогнозированных отказов (работ) оборудования, 2 – список работ требующих предварительной диагностики, на необходимость проведения, 3 – список работ, не требующих предварительной диагностики, 4 – список работ, необходимость которых подтверждена диагностикой, 5 – план работ по обслуживанию и восстановлению работоспособности оборудования).

Для учёта всех этих факторов может применяться экспертная система либо другой инструментарий (не рассматривается в рамках данной работы, т.к. выходит за ее рамки).

После проведения предварительной диагностики оборудования и прогноза отказов выполняется формирование плана работ по ТОиР (Рисунок 40). Разработаны алгоритмы планирования. Общий алгоритм составления плана работ - Рисунок 41.

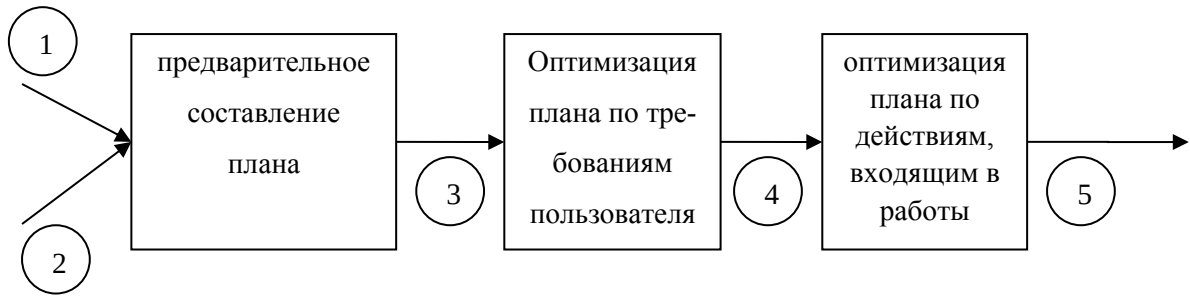


Рисунок 40 – Составление и оптимизация плана (1 – список работ, не требующих предварительной диагностики, 2 – список работ, необходимость которых подтверждена диагностикой, 3 – предварительный план проведения ТОиР (на уровне работ), 4 – план, оптимизированный с учётом требований пользователя (работы и политики предприятия), 5 – план проведения работ, оптимизированный по составу действий, входящих в работы).

Для реализации стратегии (5й ключевой этап метода ППрР при выборе стратегии ТОиР ПрО) составляется план работ. Опишем модель планирования работ по ТОиР ПрО.

Предварительный план $PP = \{WP, Date\}$, (32)

где WP – список работ, которые необходимо провести, $Date$ – период проведения работ.

$WP = \{W_i \mid i = 1, \dots, N_w\}$, (33)

W_i – работа, которую необходимо выполнить,

$W_i = \{D_i, WDate_i, WPer_i, Ex_i \mid i = 1, \dots, N_w\}$, (34)

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, $Ex_i = (0/1)$.

$D_i = \{DE_i, DO_i\}$, (35)

$DE_i = \{DE_{ij} \mid j = 1, \dots, N_D\}$, (36)

где DE_{ij} – действие, DO_i – связь между действиями.

$DE_{ij} = \{E_{ij}, U_{ij}, DDate_i, DPer_i \mid j = 1, \dots, N_D\}$, (37)

E_{ij} – список материальных ресурсов, необходимых для выполнения действия, U_{ij} – список человеческих ресурсов, необходимых для проведения дей-

ствия, $DDate_i$ – период проведения действия, $DPer_i$ – продолжительность проведения действия.

Итоговый план P имеет ту же структуру и включает те работы, где $EX_i=1$.

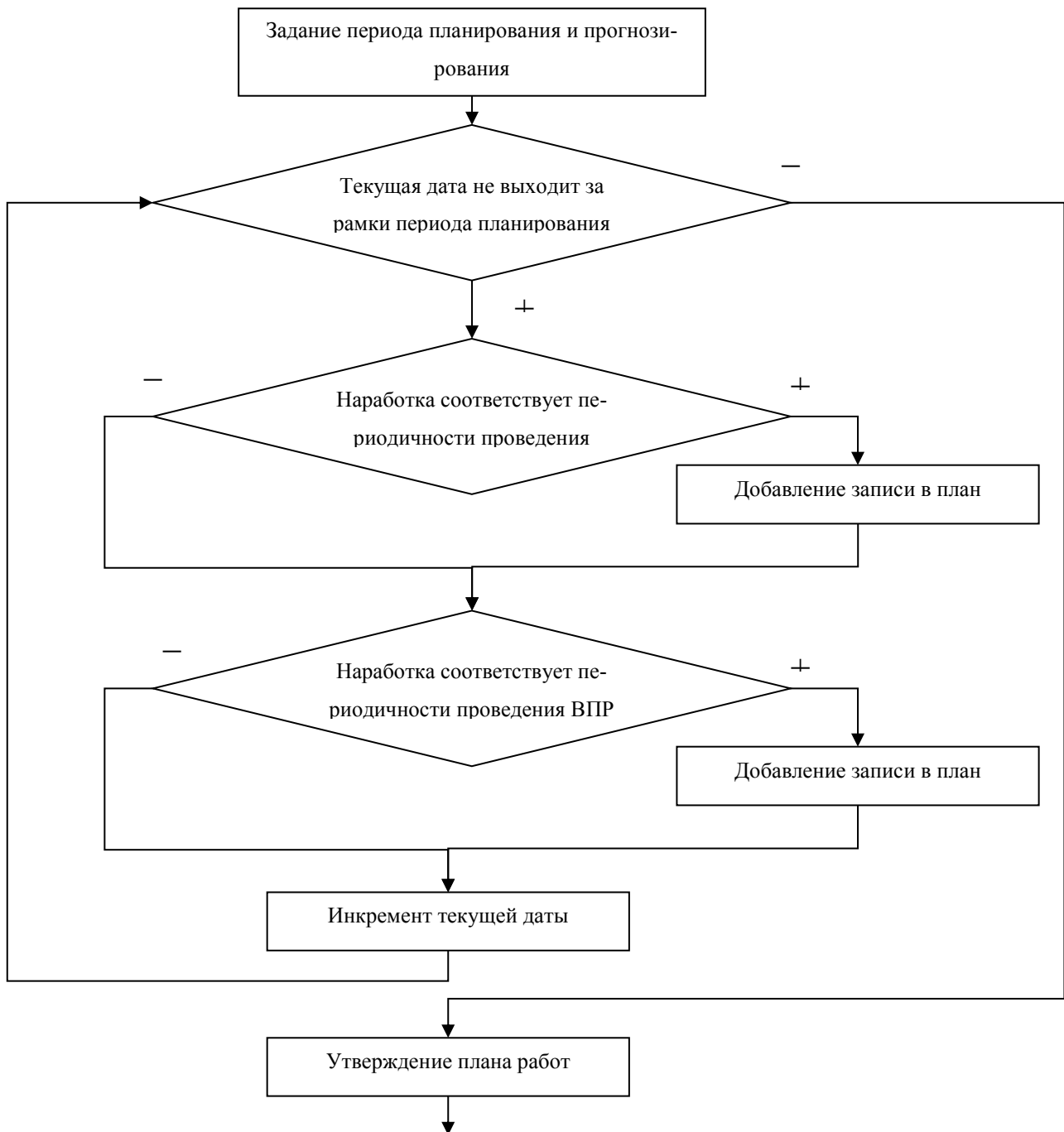


Рисунок 41 – Общий алгоритм планирования работ.

3.5 Определение затрат на ТОиР оборудования

В зависимости от регламента предприятия, может проводиться различная финансовая политика способов финансирования ремонта [135] основных фондов:

- по фактически произведенным затратам;
- создание резерва на предстоящий период;
- применение счета расходов будущих периодов.

Как утверждается в [165], ни один из трех способов в отдельности не обеспечивает получения корректных результатов. Применение в финансовой политике предприятия способа «по фактически произведенным затратам» при нахождении в эксплуатации более 70% полностью амортизированных основных фондов приводит к неоправданному росту затрат на ремонты, завышая издержки производства. Применение только одного способа «создания резерва на предстоящий период» приводит к занижению реальных потребностей в денежных средствах на ремонт, так как не учитывает затрат на сложные, дорогие капитальные ремонты оборудования с периодичностью ремонта более продолжительности базового периода. Применение в финансовой политике предприятия только одного способа «применения счета расходов будущих периодов» не позволяет реально учитывать потребности в денежных средствах на ремонт с учетом технического состояния парка оборудования и сложившейся на предприятии структуры финансовых затрат на ремонты. С учетом изложенного, оптимальным является сочетание указанных выше способов. Общий алгоритм расчета затрат на ремонт – Рисунок 42.

Базовый норматив отчислений на ремонт основных фондов Nb определяется по формуле [165, 111]:

$$Nb = (Zb / Sbf) * 100, \text{ где} \quad (38)$$

Zb – среднегодовые затраты на ремонт оборудования за базовый период

Sbf – среднегодовая совокупная стоимость основных фондов (оборудования) за базовый период.

Величина годового резерва средств на ремонты Rgf :

$$Rgf = Zb * Bf_k / Sbf, \text{ где} \quad (39)$$

В качестве базового периода [135] рекомендуется использовать средние величины Zb , Sbf за 3-5 лет по бухгалтерской отчетности. Исходными данными для расчета базовых нормативов являются отчетные данные бухгалтерского учета.

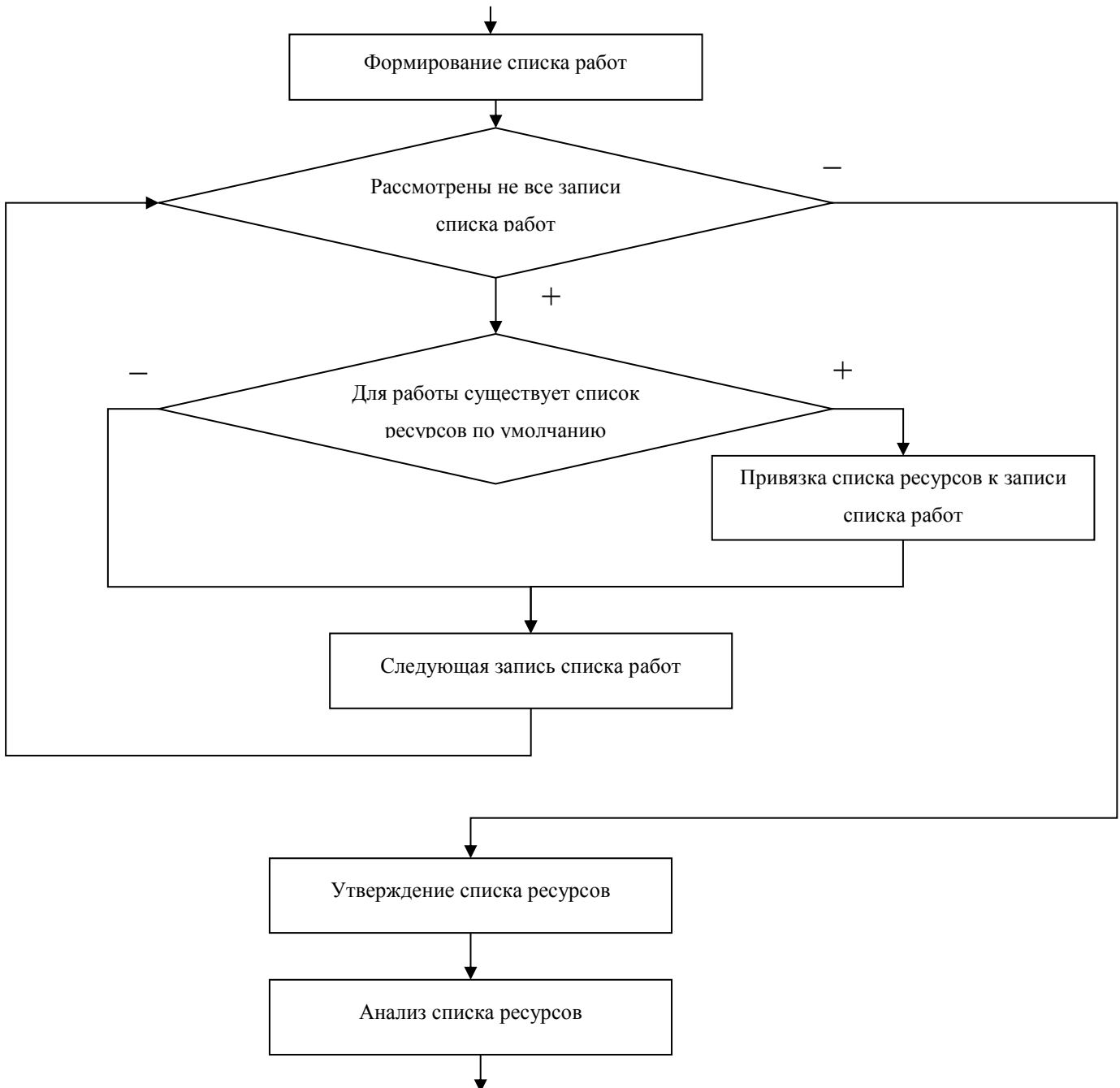


Рисунок 42 – Общий алгоритм расчета затрат на ремонт.

Bf_k – годовая совокупность стоимости оборудования для k -го года периода планирования, тыс. руб.

В тех случаях, когда в течение базового периода не проводились ремонты сложного оборудования, периодичность ремонтов которого превышает длительность базового периода, величина годового резерва средств на ремонты Rgf , будет недостаточной для покрытия реальных расходов на ремонты в планируемом году.

Помимо дополнительных затрат на ремонты сложного оборудования, при определении фактических затрат на ремонты в планируемом году следует учитывать затраты на внеплановые ремонты. В действовавших ранее нормативах затраты на неплановые ремонты составляют 5% от величины годового резерва средств на ремонты. Принимая во внимание возрастной состав парка оборудования на планируемый год и, соответственно, его изношенность, этот норматив должен быть увеличен по меньшей мере до 10%.

Для определения фактических затрат на ремонты в планируемом году необходимо учесть ожидаемый уровень инфляции. Ориентировочно его можно принять на уровне года, предшествующего планируемому.

С учетом сказанного, величина годового резерва средств на ремонты в планируемом году можно определить как:

$$Rg = 1,2 * (Rgf + Zkr), \quad (40)$$

где Rg – затраты на ремонт в планируемом году;

Rgf – величина годового резерва средств на ремонт;

Zkr – сумма затрат на сложные капитальные ремонты (ремонты, которые в связи с периодичностью более продолжительной, чем базовый период, не проводились в течение базового периода и по этой причине не учтены при расчете Rgf).

3.5.1. Определение затрат на ремонт в планируемом году с учетом коэффициентов ремонтной сложности оборудования

В тех случаях, когда известны или могут быть определены коэффициенты ремонтной сложности (КРС) оборудования, включенного в план ППР на планируемый год, а также проходившего ремонт в базовом периоде, более объективную оценку затрат на ремонт в планируемом году можно получить по формуле:

$$Rgf = Zb \sum N_{ik} * KRS_{ik} / \sum N_{jb} * KRS_{jb}, \quad (41)$$

где Rgf – величина годового резерва средств на ремонт в планируемый год;

Zb – среднегодовые затраты на ремонт в базовый период;

N_{ik} – количество единиц оборудования i -ой модели (типа), включенное в план ППР на планируемый год;

KRS_{ik} – коэффициент ремонтной сложности i -ой модели оборудования, включенного в план ППР;

N_{jb} – количество единиц ремонтной сложности j -ой модели оборудования, прошедших ремонт в базовый период;

KRS_{jb} – коэффициент ремонтной сложности j -ой модели (типа) оборудования, прошедшего ремонт в базовый период.

3.5.2. Определение затрат на ремонт силами сторонних организаций на договорной основе

В тех случаях, когда ремонт предполагается осуществлять силами сторонних организаций (на договорной основе), затраты на ремонт оборудования в планируемый период можно определить исходя из сложившейся на рынке стоимости ремонта тех или иных типов (моделей) оборудования. Этот метод расчета требует проведения определенных маркетинговых исследований. Суть метода заключается в следующем. На основе анализа существующих на рынке предложений по стоимости ремонта оборудования, для которого известны коэффициенты ремонтной сложности, определяется усредненная рыночная стоимость капитального ремонта единицы ремонтной сложности оборудования Fkr .

Определяется сумма единиц ремонтной сложности оборудования, планируемого к капитальному ремонту в соответствии с планом ППР:

$$KRS_{KR Sum} = \sum N_i * KRS_i, \quad (42)$$

где N_i – количество единиц оборудования i – ой модели (типа);

KRS_i – коэффициент ремонтной сложности (количество единиц ремонтной сложности) i – ой модели.

Определяются ориентировочные затраты на капитальный ремонт оборудования в планируемом году:

$$Z_{kr} = F_{kr} * KRS_{KR Sum} . \quad (43)$$

Определяются ориентировочные затраты на средний ремонт:

$$Z_{sr} = 0,5 F_{kr} * KRS_{KR Sum} , \quad (44)$$

где $KRS_{KR Sum}$ – сумма единиц ремонтной сложности оборудования, планируемая к среднему ремонту

Коэффициент 0,5 характеризует соотношение трудоемкости среднего и капитального ремонта с учетом возрастного состава оборудования (70% оборудования старше 20 лет).

Определяются ориентировочные суммарные затраты на средний и капитальный ремонт:

$$Z_{sum} = Z_{sr} + Z_{kr} \quad (45)$$

3.5.3. Определение затрат на ремонт силами предприятия

На основе анализа затрат на капитальные и средние ремонты оборудования, КРС которого известны, в базовый период определяются усредненные значения стоимости капитального и среднего ремонта единицы ремонтной сложности F_{sr} и F_{kr} . Определяются суммы единиц ремонтной сложности оборудования, планируемого к среднему и капитальному ремонту. Определяются ориентировочные затраты на средний и капитальный ремонты:

$$Z_{sum} = F_{sr} * KRS_{SR Sum} + F_{kr} * KRS_{KR Sum} . \quad (46)$$

3.6 Основные результаты и выводы по главе 3

На основании проведенных исследований предложена концепция програм-

мно-информационной поддержки проактивного ТОиР промышленного оборудования в цикле постоянного улучшения, состоящая из следующих основных положений:

- 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.

Сформирована графическая схема концепции и обобщенный алгоритм. Согласно определению методологии в [132] (учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности), концепция программно-информационной поддержки проактивного ТОиР ПрО имеет признаки методологии. Концепция программно-информационной поддержки проактивного ТОиР промышленного оборудования позволяет реализовать и оценить эффективность стратегий ТОиР за счет системы сбалансированных показателей и прогнозирования состояния промышленного оборудования.

Разработанный метод непрерывного улучшения процесса ТОиР ПрО позволяющий целенаправленно улучшать процесс ТОиР ПрО на основе системы ключевых показателей эффективности. Произведена классификация групп показателей эффективности. Выделены более 100 КПЭ ТОиР ПрО.

При использовании системного подхода к задаче увеличения эффективности организации 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 ключевых показателей эффективности.

Разработан метод ППР при выборе стратегии ТОиР ПрО, который позволяет определять стратегии и необходимые ремонтные воздействия ПрО.

Для первичного определения сценариев изменения системы организации ТОиР на предприятии при изменении отдельных факторов предложено использовать когнитивное моделирование [27, 60, 134]. Когнитивное моделирование позволяет выполнять: первичное получение модели; исследование различных сценариев изменения системы организации ТОиР; оценку ситуации и анализ взаимовлияния действующих факторов. Исследованы различные сценарии изменения системы организации ТОиР.

Для решения задачи сбора и обработки данных предложено использовать модель делиберативного BDI-агента, опирающуюся на использовании CTL-логики вычислительных деревьев, в которой каждому времени приписывается некоторая ситуация, характеризующаяся тремя множествами миров: миров убеждений, желаний и намерений. В основу процессов формирования возможных миров убеждений положено использование дерева принятия решений агентом. Применение этой модели в системе автоматизации ремонта и обслуживания позволит повысить степень автоматизации сбора и обработки информации о состоянии оборудования.

На основании исследования и формальной постановки задачи ППР был составлен метод ППР при выборе стратегии ТОиР ПрО, позволяющий определять стратегии и необходимые ремонтные воздействия ПрО для применения к конкретному оборудованию:

- 1) Использование регламентов.
- 2) Когнитивное моделирование факторов ТОиР.
- 3) Выбор стратегии организации ТОиР:
- 4) Анализ выбранной стратегии:
- 5) Реализация выбранной стратегии.

Произведена классификация моделей принятия решений, формализована задача принятия решений, определена целевая функция.

Исследована задача модернизации оборудования, которая имеет высокую важность при организации ТОиР ПрО. Сформирован алгоритм метода ППрР о модернизации имеющегося оборудования с учётом новых условий производства.

Для максимальной переносимости и возможности исполнения распределёнными программными агентами разработана кроссплатформенная библиотека методов поддержки принятия решений на языке высокого уровня Java. Реализованные методы достаточно полно охватывают область возможных ситуаций выбора, имеют разную степень сложности и разные наборы входных данных. Проанализированы условия применимости методов и возможные ограничения, достоинства и недостатки. Реализованная библиотека методов может быть использована на различных этапах ЖЦ для поддержки принятия решений.

4 МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ОРГАНИЗАЦИИ ТОИР

4.1 Информационная модель знаний об объекте ТОиР

При разработке информационного обеспечения задач поддержки организации ТОиР основное внимание уделяется моделям представления данных и знаний об объекте и процессе ТОиР.

Для решения задачи создания автоматизированных средств поддержки проектной деятельности необходимо, прежде всего, выбрать эффективный способ представления информации о проектируемом объекте [75]. Известен ряд подходов к представлению моделей объектов проектирования с использованием структурированных данных и знаний для автоматизации проектирования технических систем [48, 56, 71, и др.], в том числе в виде иерархических теоретико-множественных описаний производственной системы [114 и др.].

Однако до настоящего времени в полной мере не решена задача интегрированного представления данных и знаний об объектах проектирования на разных уровнях описания для автоматизации различных этапов проектирования [108, 110] и эксплуатации. В результате анализа моделей выявлены основные недостатки известных подходов (например, недостатки моделей описания и/или графов, позволяющих моделировать структуру технических систем).

Необходима одновременная поддержка различных видов работ и работ с ПрО, находящимися на разных этапах жизненного цикла. При использовании единой модели представления данных различные ПрО будут представлены одинаковым образом. Благодаря этому, будет сокращено время проектирования, будет возможно параллельное проектирование разных ПрО одним проектировщиком и одного ПрО несколькими.

Проведено исследование способов и уровней описания объекта проектирования (технического объекта и его структуры), обмена информацией между системами различных производителей на основе стандартизованного интегрирован-

ного описания (в частности, стандарты семейства ISO 10303 STEP и др. [75, 94]).

Традиционно, знания об области и объекте проектирования представляются на различных стадиях процесса проектирования в виде следующих элементов [117]: потребности; технической функции; потоковой и конструктивной функциональной структур; физического принципа действия; технического решения и проекта. Однако, если представление данных на отдельных этапах проектирования хорошо формализовано, то общая структура представления данных на различных этапах недостаточно хорошо формализована.

В ходе всего жизненного цикла оборудования информация о его выходах из строя и проведённых над ним работах фиксируется в централизованной БД. В последствии, на основе полученных статистических данных, строится модель изменения состояния оборудования и его составных частей. На основе полученной модели изменения состояния оборудования вычисляется наиболее вероятный момент выхода оборудования из строя и заблаговременно организовывается работа по его восстановлению.

4.1.1. Параметрические модели представления информации о ТС

Процесс параметрического моделирования (часто используют термин параметризация) – это моделирование с использованием параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами. Параметризация позволяет за короткое время проанализировать (с помощью изменения параметров или геометрических отношений) различные конструктивные схемы и избежать принципиальных ошибок.

Существуют следующие типы параметризации:

- табличная параметризация;
- иерархическая параметризация;
- вариационная (размерная) параметризация;
- геометрическая параметризация.

Современные системы сопровождения изделий должны позволять вносить

изменения, которые не могли быть предсказаны заранее, и отслеживать их по всем этапам проекта. Любое некорректное изменение может быть проведено при условии доступности к изменению ранее заложенных основ: идеологии (истории построения), топологии, размеров. Возможность внесения улучшений в проект до самого последнего момента работы над ним потенциально несет в себе более высокое качество и напрямую отражается на конкурентоспособности проекта [1].

В современных CAD/CAM/CAE-системах в процессе создания геометрической модели изделия, каждому параметру, автоматически присваивается уникальный идентификатор. Просмотр и редактирование идентификаторов возможно осуществить с помощью соответствующей таблицы. Так же возможно задать пользовательские расчетные параметры. Таким образом, изменяя параметры в таблице, пользователь получает новую геометрическую модель, не прибегая к другим средствам ее редактирования.

В контексте обеспечения при эксплуатации обратной связи с разработчиками и модернизации технической системы параметризация играет ключевую роль, так как ключевой задачей является изменение проекта системы или отдельных ее компонентов. Как правило изменение приводит к следующему классу задач: позиционирование нового элемента в общую структуру изделия, добавление и обновление связей с другими компонентами технической системы, анализ полученной сборки с точки зрения возможной динамики перемещения компонентов системы и прочие виды анализа. Наличие параметризации при изначальном проектировании технической системы позволяет рассматривать различные варианты модернизации, не прибегая к масштабному перестроению всех компонентов сборки.

4.1.2. Структурно-параметрическая модель

Содержанием структурно-параметрических моделей (СПМ) объекта проектирования является совокупность следующей информации [153, 125]:

- состав элементов структуры;

- взаимосвязь (вхождение) элементов нижнего уровня в элементы верхнего уровня;
- состав свойств элементов;
- взаимосвязь свойств и элементов;
- состав параметров каждого элемента;
- взаимосвязь свойств и параметров элемента;
- взаимосвязь параметров элементов различных уровней;
- взаимосвязи между параметрами внутри структурного элемента в виде аналитических зависимостей, либо в табличной форме представления;
- взаимное положение элементов структуры в виде операторов перемещения и поворота координатных систем в пространстве.

При описании СПМ возможна ссылка на подструктуры, ранее определенные и размещенные в архиве данных.

СПМ имеют следующие отличительные черты:

1) Многоуровневость. Это свойство позволяет строить модели объекта, имеющего сложную древовидную структуру. То есть должен быть определен один головной элемент (корень) и исходящие из него (ветви), которые в свою очередь могут состоять из произвольного количества подуровней. Количество уровней в разных ветвях структуры может различаться.

Возможность создания многоуровневых моделей позволяет описывать реальную структуру объекта проектирования. Можно выделить следующие уровни моделей:

- примитивы (листья);
- конструктивные элементы;
- детали;
- сборочные единицы;
- узлы;
- изделие в целом (корень).

2) Модульность. Это свойство создавать модели фрагментов объекта проектирования независимо друг от друга, что позволяет:

- выделять в изделии самостоятельные элементы, часто встречающиеся в изделии и создавать для них отдельные универсальные модели;
- компоновать модель нового объекта из ранее созданных моделей для другого объекта;
- независимо обрабатывать фрагменты объекта для их отладки и производить их визуализацию.

Это свойство позволяет в значительной степени уменьшить затраты при разработке моделей нового изделия, вследствие создания банка типовых конструктивных элементов и деталей.

3) Параметризация объекта проектирования. СПМ позволяет строить гибкую систему параметризации объекта, способную управлять не только внешним обликом объекта, но и воспроизводить его кинематические возможности. Значения параметров могут быть заданы пользователем в численном (конечном) виде, либо выражены через аналитические или табличные зависимости, либо рассчитаны во внешних процедурах.

Система параметризации может быть построена с учетом возможности передачи значений параметров между различными уровнями модели объекта. Передача значений может осуществляться как в направлении от корня к листьям, так и в обратном направлении. Это позволяет производить увязку параметров в случае проектирования сложных, с большим количеством параметров, объектов, имеющих области воздействия в различных ветвях структуры.

4) Возможность включения в модель вариантов структур. Включение в модель вариантов структур позволяет менять состав элементов решения в зависимости от изменения внешних воздействий. Такими воздействиями являются:

- изменения значений свойств и параметров в ходе обработки модели;
- задание свойств проектировщиком;
- диалоговая корректировка структуры проектировщиком.

4.1.3. Структурно-параметрическая функциональная модель

С целью приведения к общему виду и формализации знаний о ПрО при управлении процессом его технического обслуживания, ремонта и модернизации, разработана и развита интегрированная модель инвариантного представления информации об объектах, охватывающая их описание на протяжении всего жизненного цикла и позволяющая выполнять проектные процедуры с использованием единых принципов описания, получившая название «параметрическая функциональная структура» (ПарФС) [75, 87, 80]. ПарФС является моделью представления проектных данных, построенной на основе общей теории систем и системного подхода, и является дальнейшим развитием семейства методов проектирования на графах вообще, И-ИЛИ графах (ИИГ) в частности и технологии объектно-ориентированного программирования.

Первоначально описываемая модель планировалась к применению в процессе автоматизации деятельности конструкторов [75, 2]. Но полученные впоследствии результаты позволяют судить о расширении границ применения модели и ее применимости в проектной деятельности другими специалистами с целью повышения эффективности их работы.

Рассмотрим основные структурные компоненты модели ПарФС.

4.1.4. Описание структурных компонент модели ПарФС

Структура компонент модели описания ПрО следующая. Описание класса ТС представляется в виде и/или графа. Формализованы ограничения, накладываемые на структуру ИИГ. Корень дерева – «ИЛИ-вершина». Вершины каждого уровня имеют только один тип. На соседних уровнях должно быть чередование типов вершин – «ИЛИ»-«И» или «И»-«ИЛИ». Каждый тип вершины имеет свою интерпретацию. «Или-вершины» используются для описания множества конструктивных элементов с помощью функции, которую реализует подмножество систем данного класса. «И-вершины» используются для описания подмножеств

конструктивных элементов, реализующих функцию родительской «И-вершины».

«ИЛИ-вершина» представляет собой систему (подсистему) в целом. Она соединена с множеством «И-вершин» (И-В), описывающих варианты состава подсистем данной системы. «И-вершина», не являющаяся листом, описывает вариант структуры системы. Ее «сыновьями» в дереве являются «ИЛИ-вершины» подсистем. «И-вершина»-лист соответствует элементу, неделимому на данном уровне описания. Висячая И-В служит для описания модели п/с ПрО.

Каждой «И-вершине» соответствует множество ее реализаций. Реализации для вершины-листа соответствуют вариантам исходных подсистем, из которых строится система (например, варианты деталей и узлов). Проведем аналогию с технологией объектно-ориентированного программирования (ООП). «Система» в модели ПарФС соответствует понятию «класс» в ООП, «реализация» в ПарФС – «объекту» в ООП, а «характеристики» в ПарФС – «атрибутам» в ООП.

С помощью сетевого представления (графов) происходит описание реализации ПрО. Реализация может приводиться как для отдельного экземпляра ПрО из класса (группы) систем, так и для реализаций конкретного экземпляра ПрО, т.е. реализаций следующих уровней, например, описывать состояние ПрО в определенный момент времени.

Для формализации знаний о признаках (отношениях) ПрО введено понятие «характеристики». Признаки ПрО описываются с помощью характеристик. Характеристики привязываются к вершинам и/или-графа структуры класса ПрО и вершинам сети реализаций для моделирования отношений (параметрических и иных, а также связей п/с и т.д.). Характеристики систем описывают закономерности и отношения между элементами описания класса систем и для получения значений признаков реализаций. Характеристики «И-вершины»-«листа» описывают математическую модель соответствующей системы (формулы расчета внутренних и выходных параметров по входным).

Структурные, параметрические, временные, пространственные и прочие отношения п/с задаются на языках задания характеристик (ЯЗХ), адаптированных к особенностям соответствующих характеристик [75]. В качестве значений харак-

теристик могут фигурировать численные, строковые, лингвистические значения, интервалы, порядки, математические, причинно-следственные, временные, пространственные и прочие выражения, а также их наборы вплоть до программ на соответствующей характеристике ЯЗХ. ЯЗХ описывает тип, возможные значения характеристики, ее поведение, правила задания и вычисления. Используемые в модели в качестве основы для описания параметров и отношений ЯЗХ, являются способом формализованного описания компонент ПрО и их связей, и обеспечивают однородность представления информации, широкие возможности по модификации структуры и параметров ПрО, что позволяет использовать единое описание ПрО для решения различных задач проектирования.

Разработаны интерпретаторы базовых ЯЗХ: чисел, строк, интервалов, списков, функциональных характеристик (функций, наименований), аппарата И-ИЛИ графов (формул, точек входа, точек выхода, взаимосвязей, списка формул, входных/выходных переменных входных/выходных интервалов) [75].

Возможно масштабирование интерпретаторов с целью разработки интерпретаторов более сложных ЯЗХ на основе интерпретаторов простых.

В модели ПарФС представление проектных данных ПрО фактически декомпозируется по трем уровням описания (Рисунок 43):

- 1) системы, описывающие устройство класса ПрО (и/или граф конструктивной структуры класса объектов проектирования);
- 2) реализации, описывающие исполнение ПрО:
 - графы, описывающие отдельный ПрО – сетевые структуры, описывающие на различных уровнях работу отдельных систем (концептуальная, принципиальная схема, конструктивная реализация, конструктивно-функциональная схема, потоковая функциональная структура, физический принцип действия);
 - графы, описывающие реализации конкретного ПрО – сетевые структуры, описывающие реализацию отдельного ПрО (в т.ч. и в отдельные промежутки времени);

3) характеристики на ЯЗХ (как систем, так и реализаций).

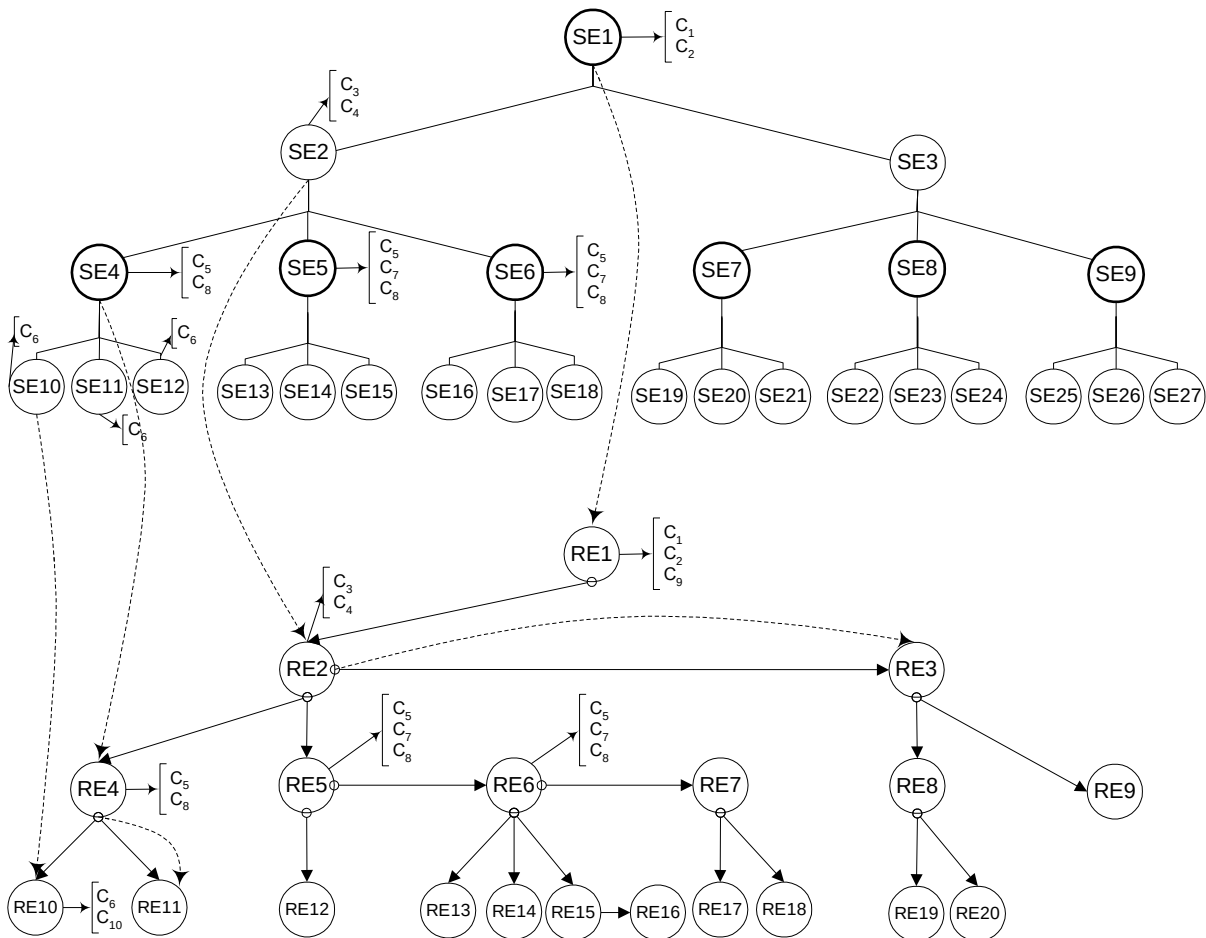


Рисунок 43 – Схема модели ПарФС.

Согласно [40], описание объекта проектирования в форме математической модели должно содержать определенный набор компонент и правила. В работе [75] доказывается соответствие модели ПарФС этому требованию.

4.1.5. Формальное описание компонент модели ПарФС

Формально параметрическую структурно-функциональную модель объектов проектирования можно задать теоретико-множественным способом [60]. Множество технических объектов описывается в виде ПарФС как $TO = \{O, X, Y\}$, где O – описание множества TO , X – множество входных воздействий на TO , Y – множество выходных реакций TO [75].

Описание множества TO задается набором $O_n = \{O_n, S, R, C, Q\}$, где O_n –

наименование множества объектов, S – конструктивная структура множества TO , R – реализации конструктивной структуры S множества TO , C – набор характеристик множества объектов TO , Q – множество отношений S и R .

Конструктивная структура S множества TO задается набором конструктивных структур дочерних систем/подсистем $S = \{S_i \mid i = 1, \dots, N\}$, где N – количество конструктивных структур технических систем множества и представляется ориентированным И-ИЛИ графом $S = \{SE, SO\}$, где $SE = \{SE_i \mid i = 1, \dots, N\}$ – конечное непустое множество вершин графа. При номере вершины i графа S SE_i является описанием конструктивной структуры определенной системы TO_i из множества TO . Множество структурных элементов $SE = SE_{\text{и}} \cup SE_{\text{или}}$, при этом $SE = SE_{\text{и}} \cap SE_{\text{или}} = \emptyset$. $SE_i = \{SE_{\text{ни}}, t_i, CS_i\}$, где $SE_{\text{ни}}$ – наименование элемента, $t_i = (\text{"и"} / \text{"или"})$ – его тип, CS_i – набор характеристик конструктивной структуры S множества объектов O_n . Множество SO является дугами графа S . $SO = \{SO_{i,j} = (SE_i, SE_j) \mid 1 \leq i, j \leq N\}$, где i, j – номера вершин графа SE . Ребро $SSO_{i,j}$ существует тогда и только тогда, когда система TO_i , входящая в набор систем множества TO , совместима с системой TO_j , т.е. связана отношением включения. Ребра и-или графа S являются отображением отношения включения подсистемы в систему (системы в надсистему).

В правильном и-или графе S структуры множества систем O_n происходит строгое чередование уровней описания конструктивных структур систем множества TO , при котором для k уровня графа S , составленного из вершин «И» ($t = \text{«и»}$) уровень $k + 1$ должен быть составлен из вершин «ИЛИ» ($t = \text{«или»}$).

Множество реализаций можно представить как набор $R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$. Каждая реализация задается как $R_j = \{R_{\text{н}j}, RS_j, CR_j\}$, где $R_{\text{н}j}$ – наименование реализации, RS_j – множество прочих реализаций более низкого уровня реализации R_j структуры S_i системы TO_i из множества TO , CR_j – множество характеристик реализации R_j .

Множество реализаций R представляется ориентированным графом (сетью реализаций) $R = \{RE, RO\}$, где $RE = \{RE_j \mid j = 1, \dots, N_i\}$ – конечное непустое

множество вершин графа. N_i – количество реализаций множества конструктивных структур S_i . RE_j является одной из реализаций конструктивной структуры S_i определенной системы TO_i из множества TO . Имеет смысл говорить в конкретном случае о реализации конкретной системы, понимая при этом под реализацией системы подграф R^{Si} , содержащий, помимо реализации непосредственно конструктивной структуры самой системы, набор реализаций ее подсистем. Структура системы и ее реализации связаны отношением $Q_i = S_i \rightarrow R_i$, где для системы TO_i из множества TO структура описана поддеревом S_i , а реализация — сетью реализаций R_i .

Характеристика описывает определенный признак системы или реализации и является фреймом $C_i = \{C_n, CA, CP, QC\}$, где C_n – 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.

Множество характеристик TO задается как $C = \{CS, CR, CQ, G, I, L, T\}$, где CS и CR – наборы характеристик конструктивной структуры объекта и ее реализаций, CQ – отношение между характеристиками структуры и реализации, G – иерархическое множество групп характеристик, I – множество источников характеристик, L – множество языков задания характеристик, ЯЗХ, T – множество интерпретаторов ЯЗХ.

Множество групп характеристик G задается ориентированным графом $G = \{G_i \mid i = 1, \dots, N_G\}$, где N_G – количество групп. Характеристики можно классифицировать по группам, например $C_i \in \{T_c \mid P_c \mid Pr_c \mid V_c\}$, где i – номер характеристики, T_c – временные, P_c – пространственные, Pr_c – признаковые и V_c – связи (описывают взаимодействие – вещественные, энергетические, информационные) характеристики.

Множество источников характеристик $I = \{I_i \mid i = 1, \dots, N_I\}$, где N_I – количество источников характеристик, составляющих множество, является иерархическим деревом и представляется ориентированным графом.

Таким образом, ПарФС множества технических объектов можно задать в

свернутом виде как $TO = \langle \{O_n, S, R, CS, CR, Q\}, X, Y \rangle$.

4.1.6. Описания характеристик для использования модели ПарФС

Формализовано описание характеристик из различных групп. Так, например, функциональные характеристики могут быть описаны в ПарФС следующим образом. Группа функциональных характеристик описывается как $GE_F = \{G_{nF} = \text{«Функциональные характеристики»}, GC_F\}$ (Рисунок 44).

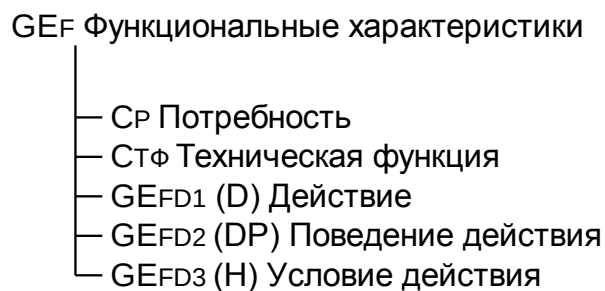


Рисунок 44 – Состав группы характеристик «Функциональные характеристики».

При этом $(C_P, C_{TF}, D, DP, H) \in C$. Иерархию действий D можно представить поддеревьями групп характеристик «Действие» $D \in G$ или $GE_{FD1} \in GE_F$, где $GE_{FD1} = \{G_{nFD1} = \text{«Действие»}, GC_{FD1}\}$, множеством группы «Поведение действия» $DP \in G$ или $GE_{FD2} \in GE_F$, где $DPE_i = GE_{FD2} = \{DP_{ni}, DPA_i, DPP_i, QDP_i\}$. Аналогично иерархию условий действий H можно представить поддеревом групп характеристик $H \in G$ или $GE_{FD3} \in GE_F$, где для каждой из вершин иерархии тезауруса действий будет $HE_i = GE_{FD3} = \{H_{ni}, HAI_i, HPI_i, QHI_i\}$.

Сетевые структуры, описывающие технические системы на определенных уровнях описания, такие как КФС, ПФС, ФПД можно задать с помощью связанного набора описаний и-или графа конструктивной структуры и сети реализаций. При этом однотипные системные объекты-подсистемы, образующие класс иерархии структуры системы TO_i , описываются конструктивной структурой S_{i1} , а варианты реализации системы TO_i , описывающие конкретную КФС, ПФС или ФПД задаются графом реализаций R_i .

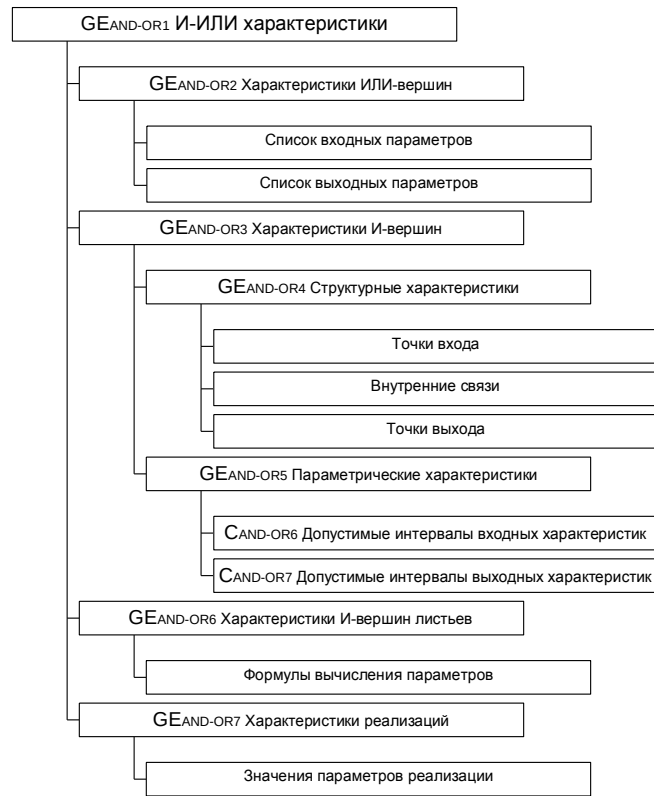


Рисунок 45 – Состав группы характеристики «И-ИЛИ характеристики».

Варианты возможных способов задания реализаций системы $R_i = \{R^{TP}, R^{KC}, R^{KFC}, R^{PFC}, R^{FPD}, \dots\}$ организуются с помощью характеристик. Таким образом, потребность и другие функциональные характеристики можно описать как характеристику из множества C (которая может задавать в т.ч. и ссылку на систему или показатель качества).

Для представления состава характеристик структуры и значений параметров реализаций множества TO с помощью аппарата И-ИЛИ-графов, дающего возможность производить проектные операции на различных стадиях ЖЦ, предложен соответствующий состав групп характеристик (Рисунок 45).

Определена принадлежность характеристик определенным группам. Входные характеристики $\{C_{AND-OR1}, C_{AND-OR3}, C_{AND-OR6}\} \in X$, выходные характеристики $\{C_{AND-OR2}, C_{AND-OR5}, C_{AND-OR7}\} \in Y$, связи $C_{AND-OR4} \in V_c$, признаковые $\{C_{AND-OR8}, C_{AND-OR9}\} \in Pr_c$, характеристики систем $\{C_{AND-OR1}, C_{AND-OR3}, C_{AND-OR4}, C_{AND-OR5}, C_{AND-OR6}, C_{AND-OR7}, C_{AND-OR8}\} \in CS$, характеристики реализаций $C_{AND-OR9} \in CR$.

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.

Выделены базовые характеристики КПЭ:

$$KPI_i = \{O, K, E, B, G, V, I, T, C\}, \quad (47)$$

где $O = \{\text{объект ТООР, субъект ТООР и процесс ТООР}\}$, 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.

4.1.7. Формализация изменения описания объекта на протяжении жизненного цикла

Формализована модель изменения описания ПрО в процессе жизненного цикла. Множество состояний описания ПрО включает определенный набор значений признаков реализации R_i^t в момент времени t . 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 , а " $\succ$ " – 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 ПрО в проекте по выглядит следующим образом:

$$On^{ПФ} \quad On^{ТС} \quad On^{СПД} \quad On^{ПДР}$$

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

4.1.8. Апробация модели ПарФС

С помощью ПарФС описаны: модели различных технических систем, процесса выполнения проекта и его элементов (календарного плана работ, графа целей проектирования); документационного представления ПрО (организационно-распорядительного документа; технического документа – по заданным описаниям документов возможна генерация документации на ПрО с помощью формализованного алгоритма); физические знания (описания потребности, эвристического приема, физической операции, технической функции, функциональных структур и физического принципа действия на основе формализованных функциональных характеристик). Выполнены примеры описаний таких объектов. Разработанная модель апробирована на различных классах ПрО на разных этапах ЖЦ.

Сформулирован состав задач проектирования в рамках модели. Проведена инженерная интерпретация информационно-поисковых задач. Выделены такие задачи, как синтез, анализ, утилизация и др.

На основе модели ПарФС и перечня задач в рамках модели строится организация процесса выполнения проекта. Сформированы методические рекомендации по составлению описаний ПрО в базе знаний в соответствии с этой моделью.

Подтверждены инвариантность модели для этапов проектирования и классов ПрО, что позволяет повысить эффективность хранения информации. Полученные результаты позволяют сделать предположение о расширении границ применения модели и наметить перспективы ее использования и развития.

4.2 Метод синтеза новой ТС в процессе модернизации с применением ПарФС

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

1) Подготовка исходных данных

- а) Выбор объекта проектирования.
- б) Конструктивно-функциональная декомпозиция объекта на элементы нижестоящего уровня.
- в) Определение конструктивной структуры объекта. Определение набора конечных 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 последовательности расчётов.

- а) 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.
- б) 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) 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.

4.3 Метаонтологическая модель ТОиР промышленного оборудования

Особое внимание в исследовании и рационализации процесса ТОиР уделяется изучению применяемых в организации правил и стратегий обслуживания и ремонта оборудования. Они могут быть в разной степени формализованы с помощью корпоративных стандартов и методического обеспечения.

Важным вопросом организации поддержки является сбор и аккумуляция знаний в едином информационном хранилище – базе знаний. Организация знаний для поддержки ТОиР может быть осуществлена различными способами, каждый из которых имеет определенные преимущества и недостатки [84]. Для задач ТОиР, помимо информации об обслуживаемых объектах основных фондов, территориальном, организационном делении, субъектах процесса ТОиР, имеют место различные информационные классификаторы, правила, регламентирующие осу-

ществование обслуживания и ремонта с точек зрения временных, ресурсных атрибутов и их ограничений в зависимости от вида ТО или ремонта. Также имеет огромную ценность историческая информация о произошедших отказах определенного оборудования и выполненных над ним ремонтных воздействиях. Все вместе они образуют метаданные или знания. Накопленные прецеденты могут быть проанализированы и классифицированы для последующего использования в виде решающих правил. Таким образом удобно использовать статистические данные об отказах оборудования определенного класса.

Представление знаний, помимо классических реляционных информационных моделей, может быть в виде карт знаний, фреймов-прототипов, прецедентов. Более структурированным и приспособленным для использования в ТОиР представлением знаний о процессе ТОиР и его компонентах является механизм онтологий [41, 103]. Получение результатов логического вывода осуществляется с помощью механизма рассуждения по прецедентам и применения правил на специализированных языках, таких как SWRL[7].

Для реализации интеллектуального ядра программно-информационной поддержки предложены онтологические модели данных и знаний о процессе ТОиР промышленного оборудования на различных уровнях описания и этапах жизненного цикла.

Разработана метаонтологическая модель ТОиР промышленного оборудования, содержащая следующие онтологии (Рисунок 46): классификация оборудования, организационная структура предприятия, производственная структура оборудования, типизация (классификация видов) ТОиР, структура процесса ТОиР, задачи этапов ТОиР, 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.

Основные классы метаонтологии:

- классификация оборудования;

- организационная структура предприятия;
- производственная структура оборудования;
- типизация (классификация видов) ТОиР;
- структура процесса ТОиР;
- задачи этапов ТОиР;
- стратегии обслуживания и ремонта ПрО;
- информация о ремонтных воздействиях на ПрО;
- штатная структура организации;
- информация о контрагентах;
- документация по ТОиР ПрО;
- технологические ресурсы и взаимодействие между ними КПЭ ТОиР ПрО;
- словари, справочники и классификаторы.

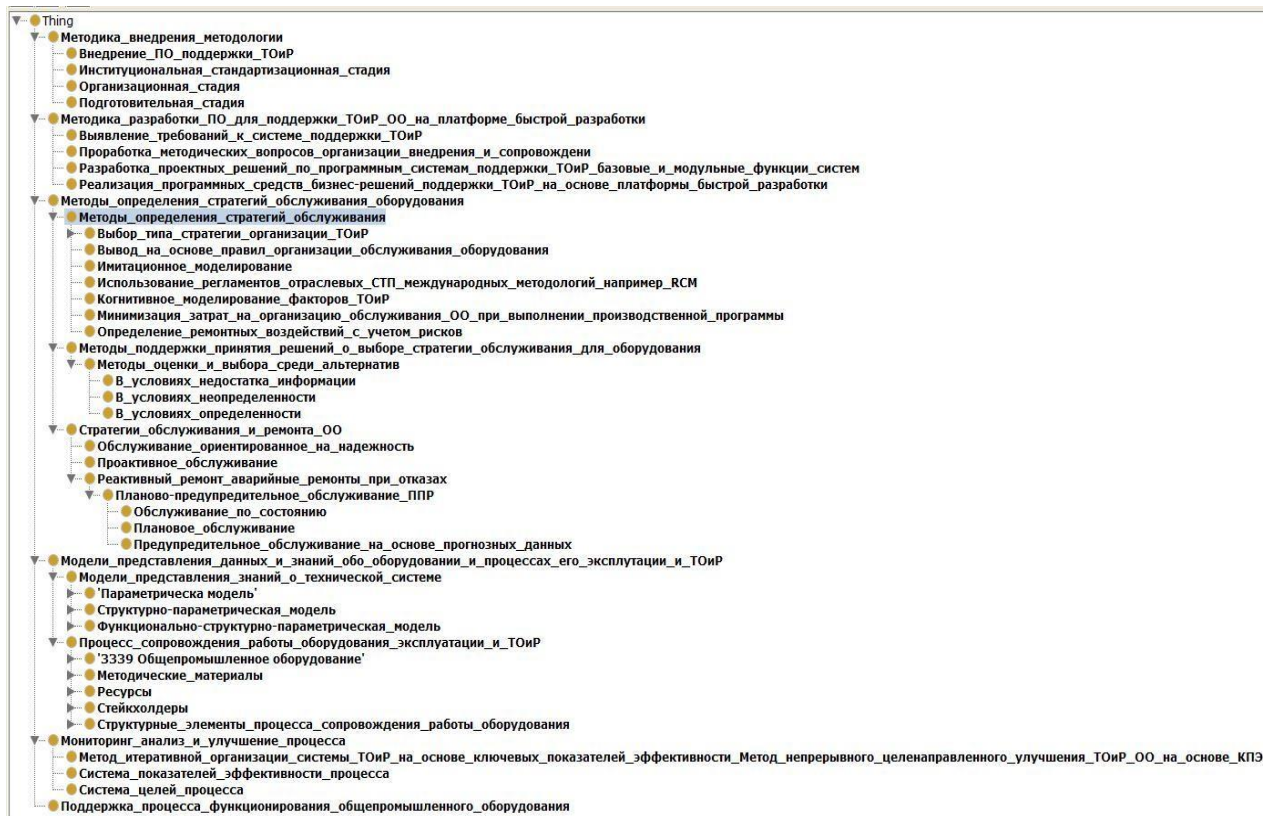


Рисунок 46 – Метаонтология в системе Protégé.

Проведено наполнение классов онтологий ТОиР ПрО в инструментальной системе для работы с онтологиями Protégé (разработчик - Stanford University). Основные классы метаонтологии ТОиР, реализованные в Protégé - Рисунок 47.

Для наполнения онтологии промышленного оборудования произведено слияние североамериканской и российской классификаций (Рисунок 49).

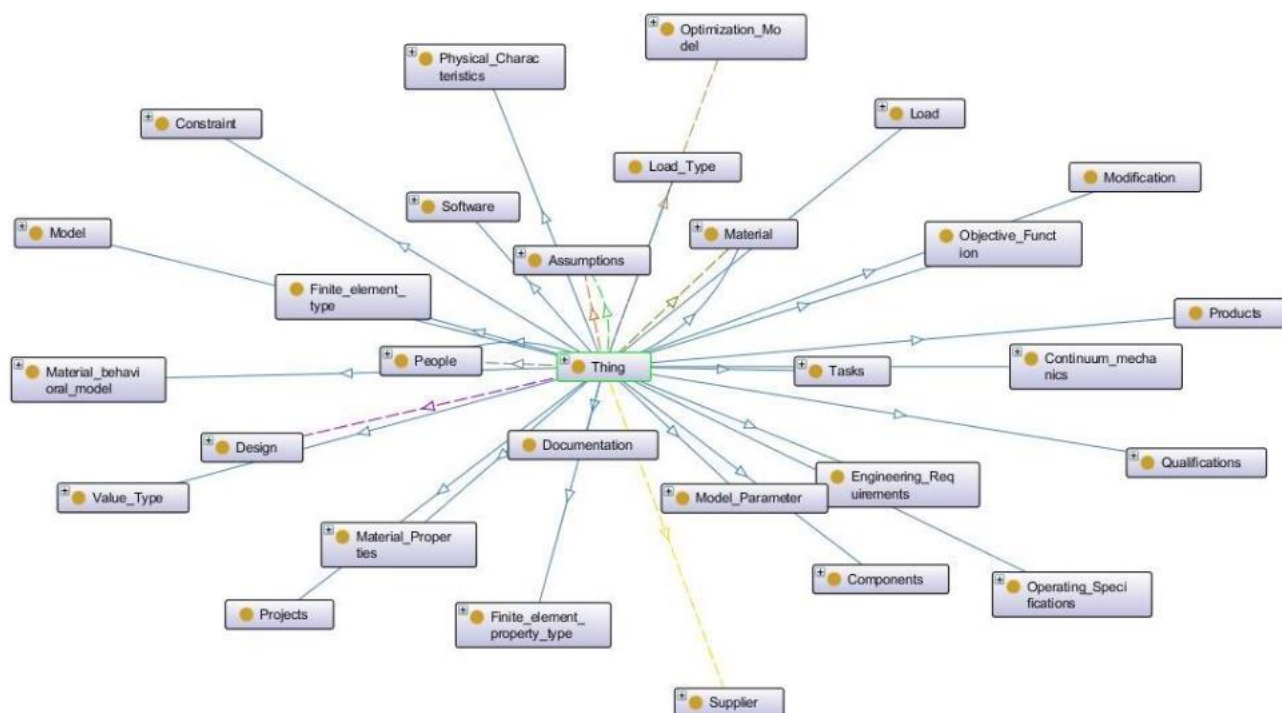


Рисунок 47 – Основные классы метаонтологии ТООР, реализованные в Protégé.

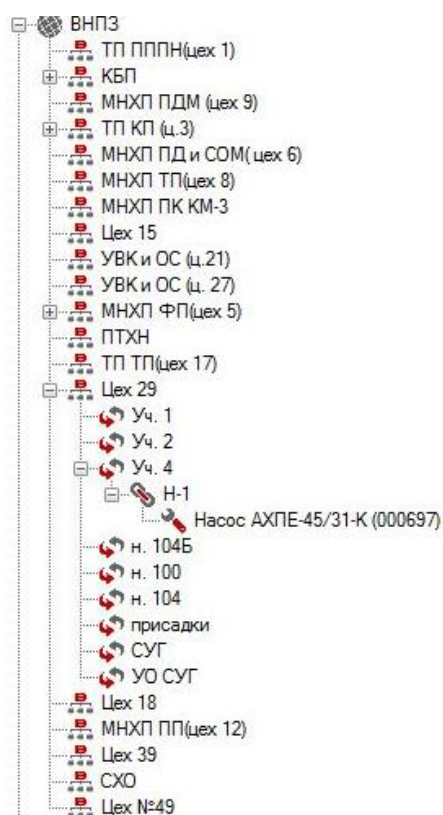


Рисунок 48 – Онтологическая структура технологических мест оборудования предприятия (фрагмент).

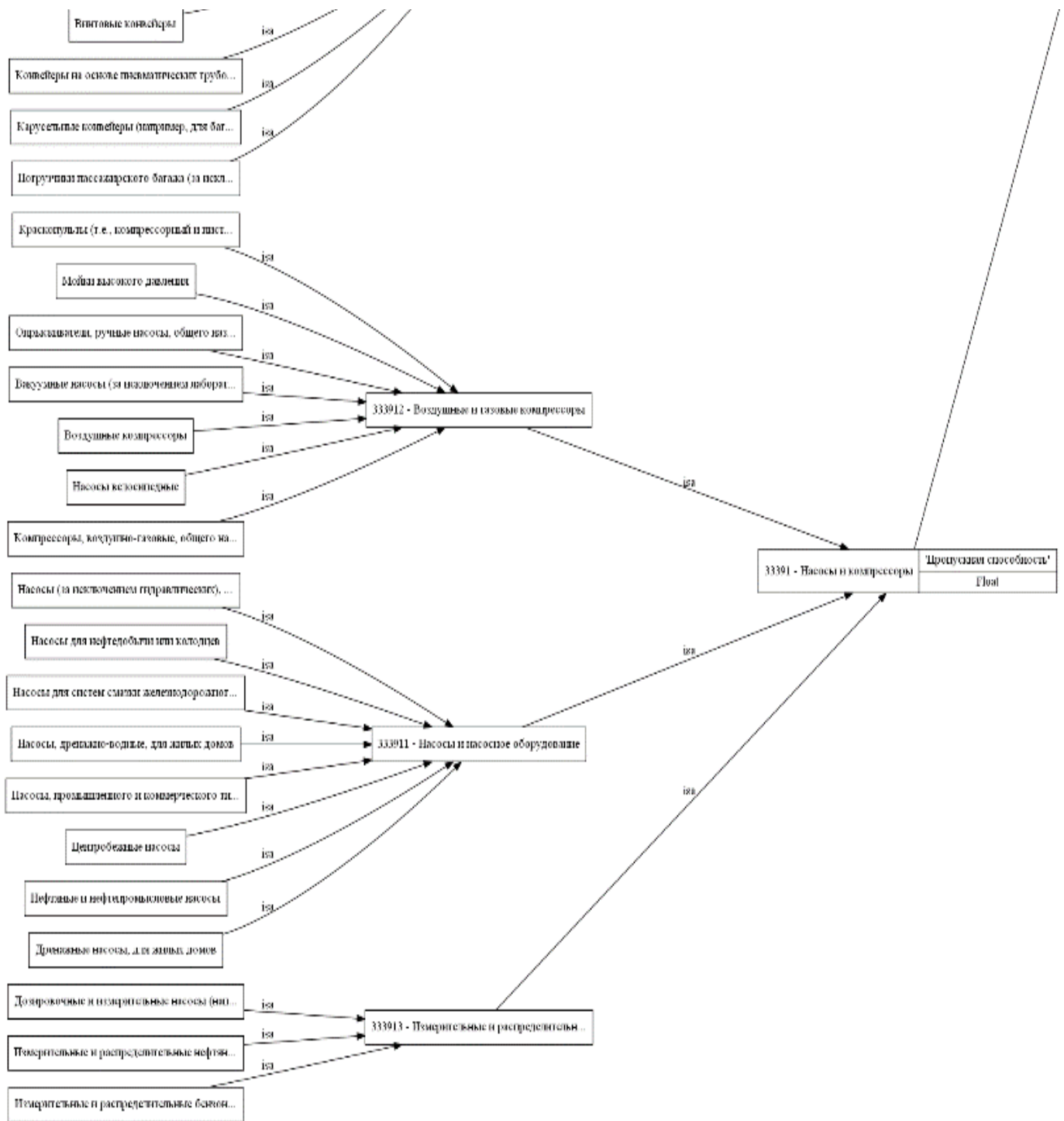


Рисунок 49 – Построенная онтология «Общепромышленное оборудование» (фрагмент).

Для автоматизации процесса наполнения онтологий разработана программа автоматического наполнения онтологий. Программа может применяться при экспертном проектировании и создании баз знаний, которые, в свою очередь, могут применяться для решения научных, производственных или учебных задач. Программа обеспечивает выполнение следующих функций: считывание онтологии из

owl-файла; наполнение онтологии экземплярами из другой онтологии; наполнение онтологии экземплярами из csv-файла; создание субдерева основной онтологии [0]. Пример работы программы – Рисунок 50.

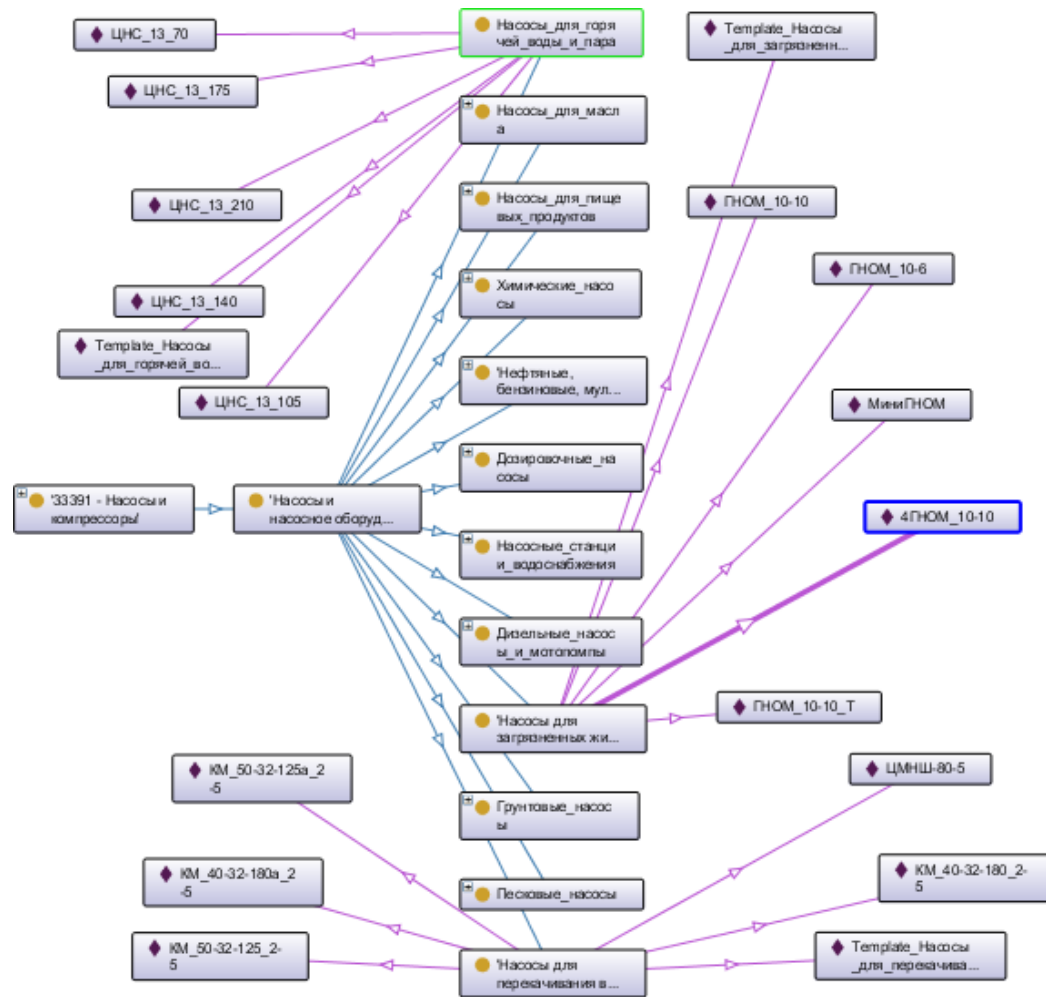


Рисунок 50 – Фрагмент онтологии после добавления новых классов.

4.4 Модель интеллектуальной многоагентной системы для задач поддержки ТОиР промышленного оборудования

Задачи оперативной обработки информации в сетевых и сложных системах могут быть решены с применением мультиагентных технологий [137]. Они развиваются на базе методов искусственного интеллекта, объектно-ориентированного программирования, параллельных вычислений и телекоммуникаций.

Агент в общем случае имеет следующие характеристики [137, 123, 38, 101]: автономность, целенаправленность, корпоративность, реактивность, временную

непрерывность, персонифицированность, коммуникативность, гибкость, мобильность, адаптивность, запас рассуждений или способность к выводам, надежность. Агенты обладают характеристиками, которые делают их незаменимыми в задачах поддержки и организации ТОиР.

Согласно [123], агентом является все, что воспринимает окружающую среду с помощью датчиков и воздействует на нее с помощью исполнительных механизмов. По методам действия разделяют интеллектуальные и информационные агенты [38]. Интеллектуальные агенты – интеллектуальная конструкция или программное обеспечение, которое осуществляет некоторый набор операций от имени пользователя или другой программы с определенной степенью независимости и автономии. Интеллектуальные агенты содержат наборы правил, которые позволяют осуществлять самоорганизацию. Интеллектуальный агент способен на гибкие автономные действия для достижения своих целей. Его характеризуют три свойства: реактивность, проактивность и социальная активность.

Под информационным агентом понимается информационная конструкция [25], которая может воспринимать внешний мир и воздействовать на него с помощью заданного алгоритма действий. Информационные агенты содержат набор алгоритмов. Программные агенты – подмножество информационных агентов, информационные конструкции, существующие только в программной среде.

Агенты постоянно выполняют следующие функции [38]: восприятие динамических условий в окружающей среде; рассуждение; интерпретация восприятия; выявление и решение проблем, выводы и определение действий. Функционирование ИА включает выполнение следующей последовательности действий: восприятие, моделирование внешней среды, моделирование информационной ситуации, анализ ситуаций, планирование действий, исполнение плана.

Формализация модели агента на основе подхода архитектуры построения многоагентных систем, например Real-Time Agent Architecture [26], подразумевает использование структуры BDI (Belief, Desire, and Intention – убеждений, желаний и намерений), адаптированной к задаче моделирования поведения интеллектуального агента [67]: $M = (W, \eta, \mu, \Gamma, B, D, I)$, где: W – множество возможных ми-

ров убеждений W^B , предпочтений W^D и намерений W^I , т.е. $W = W^B \cup W^D \cup W^I$, $W : (\{S_w : w \in W\}, \{R_w : w \in W\})$; η – функция назначения, ставящая в соответствие каждому состоянию s из мира w набор высказываний (формулу состояния) из множества Φ которые истинны в данном состоянии, т.е. $\eta(w, s) \rightarrow \Phi'$, $w \in W$, $s \in S_w$, $\Phi' \subseteq \Phi$; μ – функция назначения, ставящая в соответствие каждому отношению достижимости r , определенному в мире w , некоторое действие, т.е. $\mu(w, r) \rightarrow \xi$, $w \in W$, $r \in R_w$, $\xi \in \Xi$; Γ – система целей агента, представленная совокупностью целевых функций $\lambda(s) \in \Gamma$, определяющих приоритеты достижения агентов заданных состояний; B, D, I – отношения на множествах миров и состояний (в рамках представления убеждений агента получим $B \subseteq W^B \times S \times W^B$). Организация совместного взаимодействия сети агентов обслуживания описана в [8 и 15].

Модель интеллектуальной многоагентной системы (МАС) для интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в процессе ТОиР промышленного оборудования, представлена следующим образом:

$$\text{Agent} = \{ID, O, Freq, ORG^A\}, \quad (48)$$

Организационная структура агента формально описывается в виде:

$$ORG^A = \langle S^A, R^A, CP^A, ACT^A, Rem^A, STR^A, ST, SL, T \rangle, \quad (49)$$

S^A – множество целей агента,

CP^A – множество навыков и способностей,

ACT^A – множество действий агента, Rem^A – память агента, сохраняющая его действия, R^A – множество ролей агента, STR^A – множество стратегий поведения для целей, ST – множество состояний агента, SL – множество ограничений функционирования агента. Ограничение $sl_i \in SL$ представляется через действие и ограничение агента:

$$sl_i = \langle act_i, r_i \rangle, \quad (50)$$

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 $T\langle st, act, sl1 \rangle \subseteq T\langle st, act, sl2 \rangle$.

Интеллектуальные агенты могут интегрироваться в сообщества агентов, совместно решающие сложные задачи. Они могут кооперироваться для решения сложных задач. Такое объединение может придать системе принципиально новые качества. Приложения в области планирования и управления производственными системами показали чрезвычайную перспективность концепции многоагентных систем.

Для решения задач организации взаимодействия, упрощения процесса управления объектами схожей структуры используются мультиагентные системы (МАС). Согласно [38], мультиагентные системы могут применяться как для обработки, так и для управления. 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. МАС хорошо масштабируются и адаптируются, вплоть до реализации крупномасштабных приложений.

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

Разработана архитектура МАС поддержки ТОиР. Графическая схема архитектуры представлена ниже (Рисунок 51).

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.

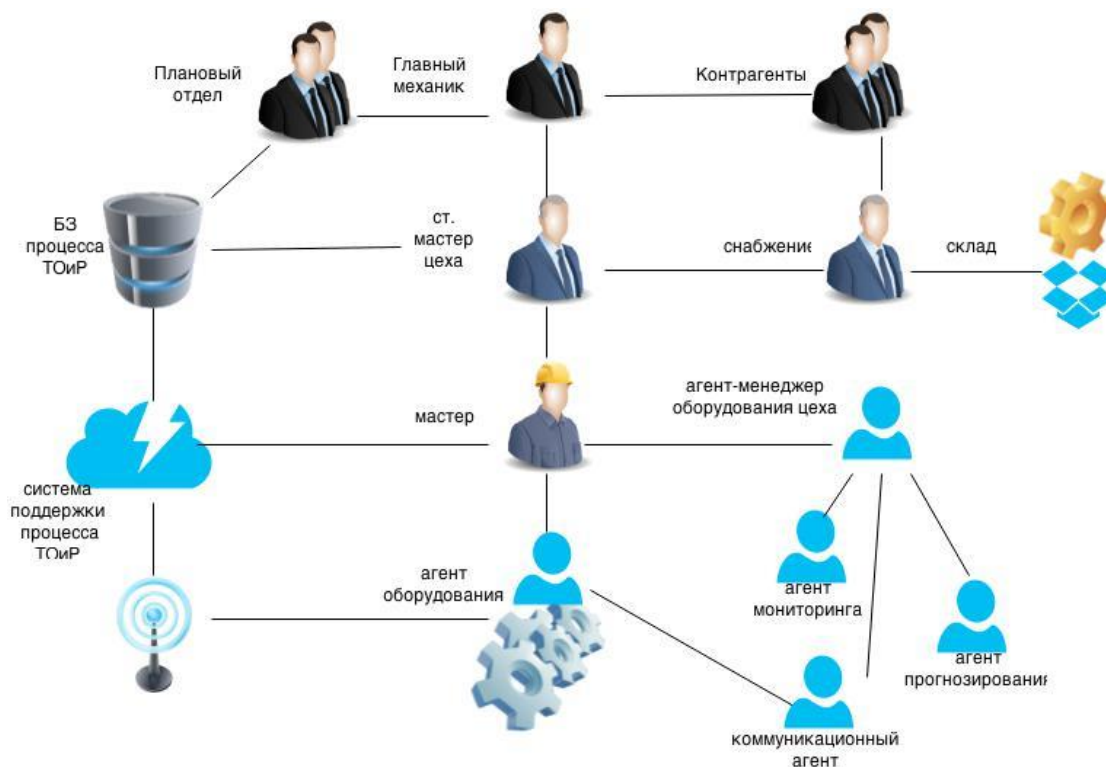


Рисунок 51 – Архитектура многоагентной системы для задач поддержки ТОиР.

4.5 Основные результаты и выводы по главе 4

С целью приведения к общему виду и формализации знаний о ПрО, используемых в процессе проектирования, разработана интегрированная модель представления информации об объектах, охватывающая их описание на протяжении всего жизненного цикла и позволяющая выполнять проектные процедуры с использованием единых принципов описания, «параметрическая функциональная структура» (ПарФС).

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.

ПарФС также позволяет хранить описание объекта проектирования в форме математической модели за счет хранения атрибутов-характеристик, заданных с помощью специализированных языков.

Функциональные знания в модели знаний об объекте ТОиР задаются с помощью функциональных характеристик и позволяют задавать описания потребности, реализуемой технической функции, функциональной структуры, физического принципа действия и технического решения с помощью связанного набора описаний конструктивной структуры и сети реализаций, а также их атрибутов.

Формализована модель изменения описания объекта в процессе жизненного цикла, что позволяет применять полученную модель для задач информационной поддержки принятия решений при управлении процессом технического обслуживания, ремонта и модернизации промышленного оборудования.

Для изменения конструкции обслуживаемого объекта разработан метод синтеза новой ТС с использованием ПарФС и соответствующие алгоритмы.

Для реализации интеллектуального ядра программно-информационной поддержки предложены онтологические модели данных и знаний о процессе ТОиР промышленного оборудования на различных уровнях описания и этапах жизненного цикла.

Разработана 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, содержащая следующие онтологии: классификация оборудования, организационная

структура предприятия, производственная структура оборудования, типизация (классификация видов) ТОиР, структура процесса ТОиР, задачи этапов ТОиР, 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.

Разработана модель интеллектуальной многоагентной системы, позволяющая реализовать интеллектуальную поддержку принятия управленческих решений в процессе ТОиР промышленного оборудования. Разработана архитектура МАС поддержки ТОиР.

5 РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ВНЕДРЕНИЕ ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДДЕРЖКИ РАБОТ ПО ТООР ПрО

Для реализации полученных моделей, методов и алгоритмов необходима разработка и внедрение программно-информационных систем автоматизированной поддержки работ по ТООР ПрО,

Для повышения эффективности реализации средств поддержки ТООР ПрО сформулирована технология разработки ПО в области автоматизации ТООР.

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

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

5.1 Инженерная методика разработки ПО поддержки ТОиР промышленного оборудования на основе платформы быстрого прототипирования

5.1.1. Проектирование системы автоматизации процесса ТОиР

На первом этапе происходит выявление требований к системе поддержки ТОиР. Определяются потребности и на основе них – требуемые функции системы поддержки. Производится исследование существующего на предприятии (в организации) процесса организации ТОиР и поддержки эксплуатации ПрО (Глава 2). При этом изучаются и формализуются действующие бизнес-процессы. На основании полученных данных производится построение функций автоматизированной системы поддержки ТОиР.

В процессе исследования было построено множество прикладных систем поддержки ТОиР (Приложения А, Б, Д). На основании анализа их функций было получено обобщенное множество функций системы поддержки ТОиР, основные из которых приведены ниже. Главная функция – автоматизация (программно-информационная поддержка) деятельности ремонтных служб по обеспечению непрерывной работы оборудования. Основные функции:

- 1) планирование и организация проведения ремонтов:
 - а) автоматизированное формирование планов и графиков ремонта;
 - б) автоматизация планирования ресурсов;
- 2) планирование кадровых ресурсов;
- 3) управление ресурсами предприятия;
 - а) прогнозирование состояния оборудования;
 - б) определение управляющих воздействий по ремонту и эксплуатации;
 - в) управление работами по ТОиР;
 - г) составление смет;
 - д) учет работ, затрат, времени;
 - е) работа с заявками, нарядами и дефектными ведомостями на работы;
 - ж) организация проведения внеплановых ремонтов;

- з) обработка информации о неисправностях технологического оборудования;
- и) управление внеплановыми ремонтами;
- 4) организация работы с БД и БЗ:
 - а) оборудования;
 - б) организационной, штатной структуры, подрядчиков;
 - в) проведенных работ;
 - г) ресурсов;
 - д) документации;
- 5) автоматизация работы с отчетными документами
 - а) формирование документов;
 - б) документооборот.

С использованием выделенных объектов процесса ТОиР и их анализа была спроектирована модель БД, представленная в приложении В в виде ER диаграмм.

Были выделены диаграммы:

- фактические и плановых работы;
- типовые работы;
- ресурсы предприятия;
- типовые ресурсы;
- типовые параметры;
- сотрудники.

Более детально функции системы рассмотрены в Приложении В. Особое внимание уделено функциям прогнозирования состояния оборудования и планирования работ по ТОиР. С учётом организации доступа к объектам данных и знаний архитектура системы должна быть реализована в виде клиент-серверного приложения, которое включает в себя клиентские приложения сотрудников предприятия и сотрудников подрядной организации. Внешняя архитектура типовой системы поддержки – см. Рисунок 52.

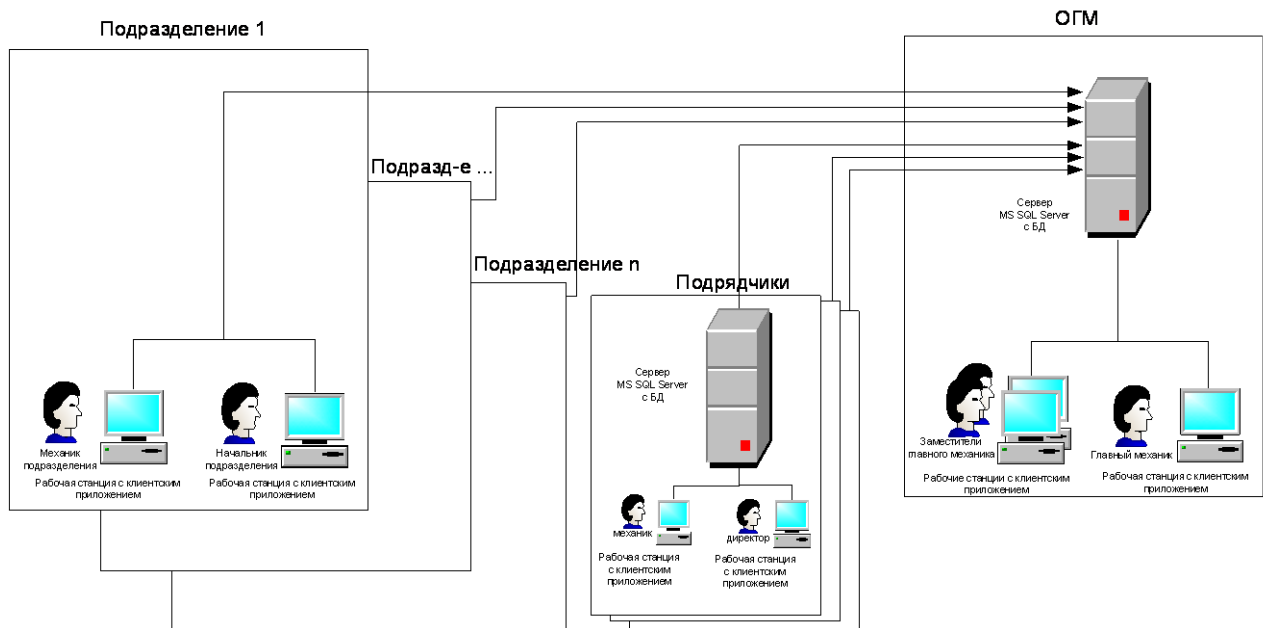


Рисунок 52 – Внешняя архитектура типовой системы поддержки ТОиР.

Предложена внутренняя архитектура системы и взаимодействия её основных модулей. Внутренняя архитектура системы представлена на рисунке (Рисунок 53).

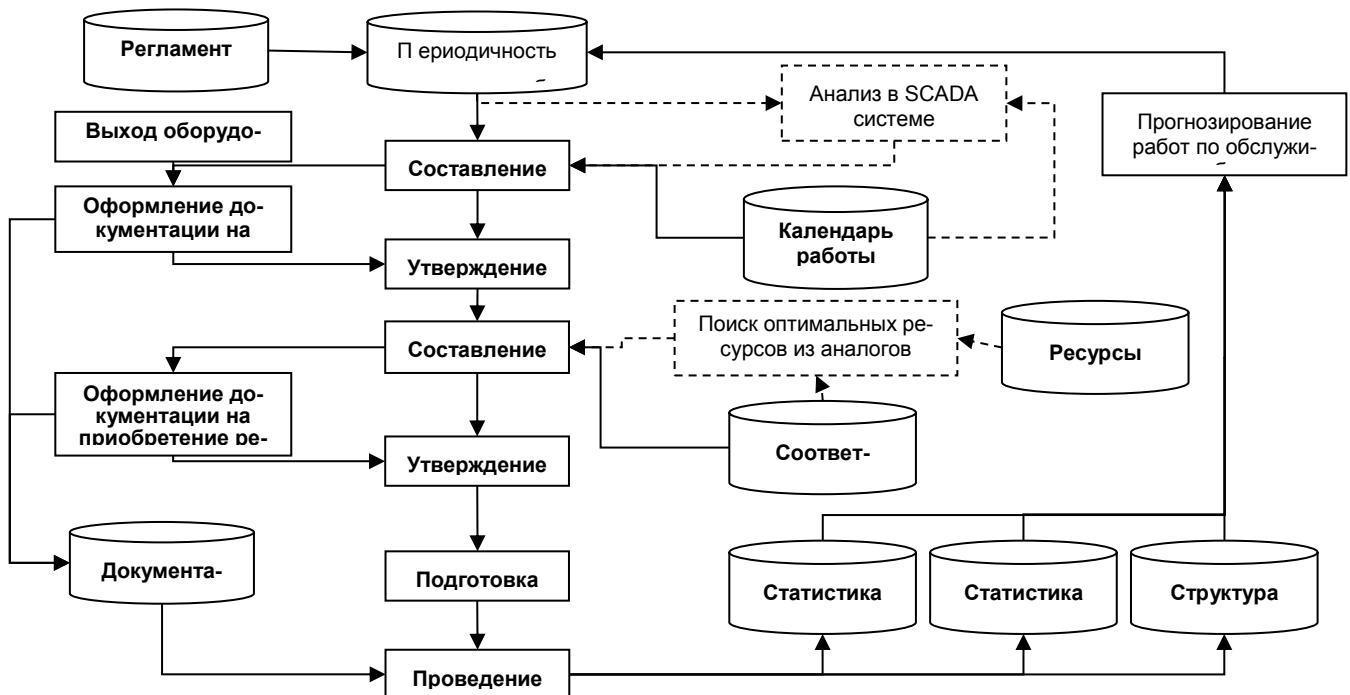


Рисунок 53 – Внутренняя архитектура системы поддержки ТОиР.

Основываясь на описании архитектуры системы, моделях данных и описаниях процессов был спроектирован и реализован интерфейс пользователя системы. Интерфейс пользователя системы представлен в приложении Д.

5.1.2. Платформа быстрой разработки программных систем поддержки ТОиР оборудования

Как показали проведенные исследования, в системе автоматизации процесса ТОиР необходим следующий минимальный набор функций программно-информационной поддержки [86]:

- ведение необходимой информации по ремонтной службе и объектах ремонта в электронном виде (паспортизация оборудования, ведение истории работы с оборудованием, работа в электронном виде с технологической и организационной структурой, хранение информации о материальных ресурсах, ведение информации о сотрудниках);
- ведение электронного журнала проведенных работ по ремонту и обслуживанию оборудованию (фиксация в электронном виде информации о составе проведенных плановых и внеплановых работ по ТОиР, затраченных ресурсах и трудозатратах, автоматизированная регистрация проведенной запланированной работы, формирование документов по проведенным работам);
- составление планов проведения работ в электронном виде (добавление в электронный план работ, ресурсов и трудозатрат, автоматизация процесса составления планов с помощью заготовок-шаблонов работ, формирование документов "план работ");
- автоматизация расчетов стоимости работ (расчет стоимости работы, расчет стоимости затрачиваемых материалов, учет вида получения материала в расчетах (покупные или изготавливаемые), задание соотношений и коэффициентов расчета.

При рассмотрении требований к системе автоматизации процессов и задач ТОиР можно подходить к определению функций программной системы также и с точки зрения реализации функций субъектов процесса обеспечения работоспособности оборудования: собственников предприятий, директората, ремонтных служб, специалистов-механиков и подрядных сервисных организаций, осуществляющих ремонт и обслуживание на принципах аутсорсинга. В этом случае кон-

цепция построения системы поддержки представляет собой связанную совокупность автоматизированных рабочих мест специалиста, в которых они фиксируют результаты действий по своим работам и процедурам процесса ТОиР. Следует отметить, что результаты процесса ТОиР зависят от совокупности конкурирующих целей субъектов процесса ТОиР, и успех применения средств автоматизации зависит от степени удовлетворения целей субъектов автоматизируемого процесса.

Современные программные системы представляют собой не только инструменты поддержки выполнения функций деятельности специалистов «как есть», но и могут содержать средства интеллектуальной поддержки и разного рода анализа, что повышает их практическую ценность. Для систем программно-информационной поддержки процесса ТОиР – это механизмы интеллектуальной поддержки выполнения работ и процедур ТОиР, план-фактного анализа, прогнозирования отказов оборудования, планирования работ по ТОиР, поддержки принятия решения для отбора наиболее приемлемых вариантов альтернатив (оценка и выбор альтернатив оборудования, материальных и людских ресурсов, ремонтных процедур и др.), а ее система данных – представлять собой не простое хранилище данных (базу данных в классическом смысле), но и содержать метаданные, определяющие способы организации и связи данных низкого уровня, и правила для получения новых решений. Степень полезности программно-информационной системы поддержки ТОиР имеет большие значения при аккумуляции методологических правил организации ТОиР, выполнения работ и процедур ТОиР, опыта экспертов-специалистов по ТОиР в отрасли.

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 (автоматизированной системы ТОиР), набор функций программно-информационной поддержки, разработана архитектура платформы быстрой разработки ПО поддержки функционирования оборудования. Прорабо-

тана внутренняя архитектура системы и взаимодействия её основных модулей.

Графически принцип построения платформы быстрой разработки программных систем поддержки ТОиР оборудования показан на рисунке 54.



Рисунок 54 – Архитектура платформы быстрой разработки программных систем поддержки ТОиР оборудования.

5.2 Инженерная методика внедрения программно-информационной поддержки ТОиР промышленного оборудования

Разработана методика внедрения программно-информационной поддержки процесса функционирования промышленного оборудования:

1) Подготовительная стадия:

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

2) организационная стадия:

- а) организация циркуляции информации по отказам оборудования;

- б) рационализация планирования мероприятий ремонтов и обслуживания оборудования и анализа их проведения;
- в) установление системы улучшений KPI с участием каждого работника, задействованного в обслуживании и/или эксплуатации оборудования.

3) Институциональная (стандартизационная) стадия:

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

4) Внедрение ПО поддержки ТОиР.

Эксплуатация программных систем приносит максимальный эффект при использовании специально разработанного методического обеспечения. На основании стандартов, опыта работы сервисных организаций и ремонтных подразделений предприятий, экспертных знаний, была формализована методика автоматизации ремонтных работ предприятия, которая может использоваться в качестве методического обеспечения при проведении процессов ТОиР [4]. При этом для создания методики организации ремонтных работ с применением средств автоматизации решались следующие задачи:

- выделение объекта и направлений исследования;
- выявление субъектов процесса ТОиР, должностных обязанностей и функций служб ТОиР;
- исследование стандартов и документации по ТОиР;
- исследования состава оборудования и объектов обслуживания;
- выявление видов и состава работ;
- описание процессов ТОиР;
- оформление методики автоматизации ремонтных работ предприятия.

5.3 Методика автоматизации ремонтных работ промышленного оборудования

Методика автоматизации ремонтных работ является формализацией процесса ТОиР – моделью, которая может применяться при проведении ТОиР с использованием средств программно-информационной поддержки. Методика организации ремонтных работ с применением средств автоматизации содержит следующие основные разделы:

- 1) Введение, общие положения и терминология.
- 2) Система ТО и ремонта техники (СТОиРТ):
 - а) Состав процесса ТОиР (виды ресурсов и работ).
 - б) Объекты ТО и ремонта.
 - в) Средства ТО и ремонта.
 - г) Исполнители ТО и ремонта.
 - д) Документация.
- 3) Субъекты процесса:
 - а) ОГМ.
 - б) ГМ.
 - в) Начальник цеха/установки.
 - г) Механик.
 - д) Сервисное предприятие.
- 4) Процессы ТОиР:
 - а) Процессы ремонта:
 - Виды работ.
 - Техническая документация на ремонт.
 - Планирование ремонтов.
 - б) Ремонтные нормативы:
 - Временные нормативы:
 - в) Порядок приема оборудования в ремонт.
 - г) Формы и методы проведения ремонта.
 - д) Порядок приемки оборудования из ремонта.

е) Процессы технического обслуживания:

Описание процессов As-is.

Описание процессов To-be.

ж) Специфические процессы ТОиР.

5) Эксплуатация машин и оборудования:

а) Приемка и ввод машин в эксплуатацию.

б) Использование машин.

в) Транспортирование машин при необходимости.

г) Техническое обслуживание и ремонт машин.

д) Хранение машин.

е) Снятие машин с эксплуатации.

ж) Эксплуатационные документы.

6) Вопросы обеспечения ТОиР:

а) Техника безопасности при техническом обслуживании и ремонте.

б) Информационное обеспечение ТО и ремонта.

в) Материально-техническое обеспечение ТО и ремонта.

г) Типовые объемы работ при ремонте оборудования.

7) Список использованных источников.

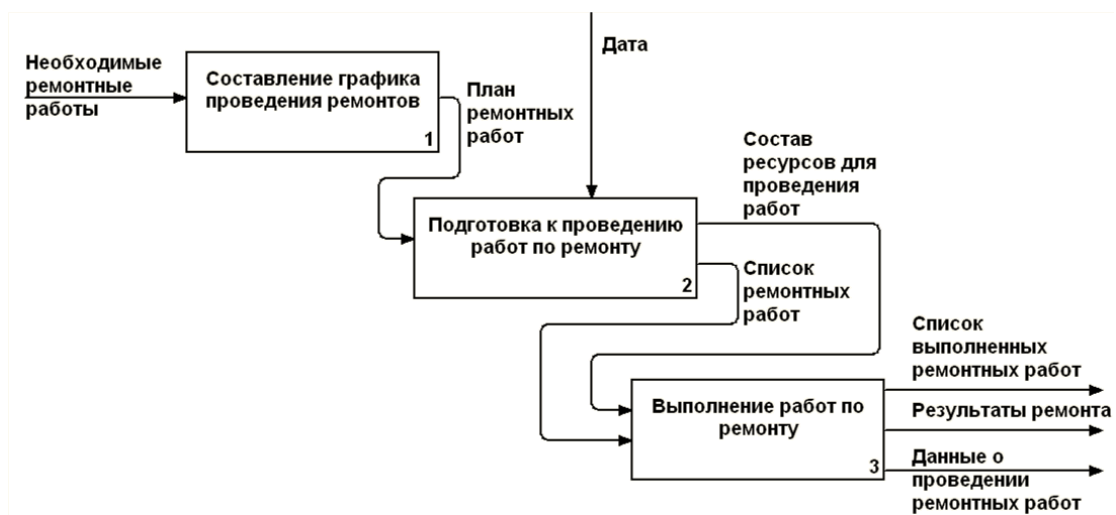


Рисунок 55 – Схема процесса «Организация работ по ремонту».

Формальные описания обобщенных типовых процессов ТОиР «as-is» и «to-be» вынесены в приложения и выполнены в виде функциональных диаграмм в но-

тации IDEF0. Примеры IDEF0–диаграмм описания процесса ТОиР приведены ниже (Рисунок 55 и Рисунок 56).

Разработанные методологические аспекты программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта позволяют повысить эффективность организации и проведения ТОиР, что в итоге повышает производительность оборудования, прибыль и конкурентоспособность предприятий.



Рисунок 56 – Схема процесса «Выполнение работ по ремонту оборудования».

5.4 Апробация подхода к автоматизации

На базе предложенных методик разработаны и внедрены следующие программные средства: система поддержки составления планов работ, система автоматизации планирования на основе планово-предупредительных работ, система учета проведенных работ, система поддержки разработки и внедрения/сопровождения. Более подробный список разработанных систем:

- 1) Программные системы универсального назначения АСТОР, АСТОР2, АСТОР3.
- 2) Реализация для ремонтного предприятия («Волгоградсервис») – АСТОР 3.1 (2008-2019 гг.)
- 3) Программные системы поддержки ТОиР для предприятий:

- а) 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.
 - б) ООО «Таганай» - программная система технического обслуживания и ремонта, 2009-2010 гг.
 - в) ОАО «ПО «Баррикады» – Разработка программной системы автоматизации планирования ремонтных работ для отдела главного механика ОАО «ПО "Баррикады», 2011 г.
 - г) ООО «Магни» – апробация методологии, 2014 г.
 - д) ЦКБ «Титан» – апробация методологии, 2014 г.
- 4) Отраслевые системы поддержки ТОиР (контрольно-кассовое торговое, антенное оборудование, оргтехника, дорожные машины, ЭВМ).

Системы проходили тестирование в соответствующих организациях и предприятиях. Проведено исследование процессов обеспечения проведения работ по техническому обслуживанию и ремонтам оборудования предприятия. Была проанализирована работа предприятия по обеспечению ТОиР на базе ВМПЗ. В частности, были рассмотрены процессы работы отдела главного механика, службы технического надзора, эксплуатационного персонала и подрядных организаций (на баз ООО «Волгоградсервис»). Так же были проанализированы существующие модели обеспечения проведения работ по ТОиР. В результате анализа были выявлены возможности автоматизации процессов обеспечения проведения работ по техническому обслуживанию и ремонтам оборудования. В особенности за счёт автоматизации процессов прогнозирования состояния оборудования и за счёт автоматизации процессов планирования проведения работ по ТОиР.

В рамках проектирования каждой из систем были проанализированы объекты, участвующие в процессе технического обслуживания и ремонтов, проработаны алгоритмы работы системы, спроектирована архитектура системы и её базы данных. Были получено свидетельство об официальной регистрации программного продукта для ЭВМ. (Приложение Б).

Полученные результаты имеет широкие возможности для дальнейшего развития и использования. Результаты данной работы могут применяться для автоматизации процесса планирования работ по ТОиР как на предприятиях, обслуживающие оборудование которых необходимо выполнять, так и в подрядных организациях, привлекаемых для проведения ТОиР. Использование данной системы может существенно повысить уровень качества планирования работ по техническому обслуживанию и ремонтам оборудования и в значительной степени снизить их трудоёмкость.

Проведена оценка эффективности применения систем. Результаты сведены в таблицу (Таблица 8).

Таблица 8 – Достигнутое повышение эффективности согласно актам

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 непроизводственных 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 «Магни»	Повышение общей эффективности организации процессов ремонта и технического обслуживания на 17-19%

Показаны оценки эффективности на полученных актов внедрения. Рассчитано, что полезный эффект может достигать десятков миллионов рублей.

5.4.1. Апробация на сервисном ремонтном предприятии

ООО «Волгоградсервис»

Произведена автоматизация деятельности ремонтных служб ООО «Волгоградсервис» по ремонту оборудования. Создан программный продукт для автоматизации процессов поддержки технического обслуживания и ремонта. Для решения поставленных задач применялись методы системного анализа, сбора и обработки информации, опроса экспертов, проектирования и реализации информационных систем, проектирования тестов данных, проведения тестирования программных модулей, разработки описаний программных продуктов, апробации и стабилизации программных систем. Целью работ являлось снижение затрат и повышение экономической эффективности организации работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) оборудования.

В результате работ разработана программная система, осуществляющая автоматизированную поддержку работ по ремонту динамического оборудования; информационные модели и алгоритмы, а также проектная документация на программную систему [0].

В ходе работы было проведено исследование процессов обеспечения проведения работ по техническому обслуживанию и ремонтам оборудования предприятия. Была проанализирована работа служб по обеспечению ТОиР ООО «Волгоградсервис». В частности были исследованы и формализованы в виде функциональных диаграмм процессы работы ООО «Волгоградсервис» по обеспечению ТОиР. Так же были проанализированы существующие модели обеспечения проведения работ по ТОиР. В результате анализа были выявлены возможности автоматизации процессов обеспечения проведения работ по техническому обслуживанию и ремонтам оборудования.

Практическим результатом работы является проект и реализация программного продукта «Система автоматизации процессов поддержки технического обслуживания и ремонта», обеспечивающего поддержку процесса планирования ТОиР на ООО «Волгоградсервис». В рамках проектирования системы были проанализированы объекты, участвующие в процессе технического обслуживания и ремонтов, проработаны алгоритмы работы системы, спроектирована архитектура системы и её базы данных, спроектированы и реализованы программные модули.

В БД программной системы на первом этапе было внесена информация о структуре предприятия, а также используемом динамическом оборудовании:

- 1) 2023 записи в структуру предприятия. Добавлены подразделения предприятия, установки, соответствующие подразделениям и их позиции;
- 2) 132 записи – производители динамического оборудования. В справочник параметров в параметр «Производитель» была добавлена информация о производителях;
- 3) 556 записи – наименование динамического оборудования. Информация добавлена в справочник «Типовые ресурсы».
- 4) 2251 запись – запасные части к оборудованию.
- 5) Было расставлено на позиции 144 наименования динамического оборудования. Сначала оборудование заносили «на склад», а потом ему назначалась позиция в структуре оборудования.

При добавлении запасной части в базу заполнялись атрибуты: наименование, изготовитель, тип ресурса (Запасная часть), класс ресурса (вал, болт, уплотнитель и т.п.), параметры ресурса по умолчанию (цена и производитель).

При добавлении оборудования в базу заполнялись наименование, производитель, тип, класс, совместимые ресурсы и прочие параметры.

В дальнейшем в процессе сопровождения системы и самостоятельной эксплуатации на протяжении более 10 лет было внесено еще несколько десятков тысяч записей.

Результаты данной работы могут применяться для автоматизации процесса планирования работ по ТОиР промышленного оборудования как на самих пред-

приятелях-владельцах оборудования, так и в подрядных организациях, привлекаемых для проведения ТОиР. Использование данной системы может существенно повысить уровень качества планирования работ по техническому обслуживанию и ремонтам оборудования и в значительной степени снизить их трудоёмкость.

Акты внедрения приведены в Приложении А. Свидетельства о регистрации приведены в Приложении Б.

5.4.2. Аprobация на предприятии ООО "Таганай"

Назначение и область применения системы – программно-информационная поддержка проведения процессов технического обслуживания и ремонта антенного оборудования (ПС ТОиР КА). Главная функция ПС ТОиР КА: программно-информационная поддержка организации и учета работ по техническому обслуживанию и ремонту коллективных антенн.

Основными функциями ПС ТОиР КА являются:

- Настройка общей информации о реквизитах сервисной компании.
- Ведение информации об управляющих домами компаниях.
- Ведение базы данных клиентов
- Ведение базы данных установленного оборудования.
- Ведение информации о работе с сервисными заявками на ТОиР.
- Ведение справочников исполнителей работ и др.
- Формирование необходимой документации по ТОиР.

В ООО «Таганай» переданы исполняемые модули ПС ТОиР КА с файлами БД и с необходимыми для работы файлами на машинном носителе. ПС ТОиР КА реализована в виде исполняемого приложения, работающего под управлением операционной системы Windows™ 2000 или Windows™ XP (а также более поздних версий ОС Windows™ в случае, если они совместимы с указанными сверху вниз) корпорации Microsoft®, с установленными инструментальным средством

для управления базой данных (БД) формата Microsoft SQL. Выходные файлы формируются в форматах Microsoft Word и Excel.

В ходе опытной эксплуатации определены состав функциональных возможностей ПС ТОиР КА, уровень технологической реализации отдельных элементов, их работоспособность в условиях реального применения, осуществлен анализ временных и прочих характеристик программной системы, произведено исправление недостатков системы, а также доработка функциональности системы с учетом пожеланий заказчика.

В результате опытной эксплуатации установлено, что разработанная программная система технического обслуживания и ремонта коллективных антенн удовлетворяет современным требованиям и может быть рекомендована для использования в других организациях.

5.4.3. Апробация системы планирования ТОиР в ОАО «Баррикады»

Цель работы – повышение эффективности проведения технического обслуживания и ремонта оборудования (ТОиР) специализированными службами предприятий и организаций за счет создания программной системы автоматизации планирования ремонтных работ (ПС АПРР). ПС АПРР предназначена для программно–информационного сопровождения планирования работ по ТОиР ремонтных служб предприятия.

В процессе работы велось исследование отдела главного механика, его структуры, функций и задач всех подразделений, в частности, бюро планово-предупредительных работ и архива. Исследована методика расчета технического обслуживания и ремонта, которая доработана для реализации спроектированной и реализованной программной системе автоматизации планирования ремонтных работ. Разработанная система прошла апробацию на данных, предоставленных ОАО «ПО «Баррикады».

В результате апробации в систему были внесены необходимые изменения и уточнения, а также исходные данные, необходимые для планирования ТОиР на ОАО «ПО «Баррикады» по имеющейся методике. По договоренности с заказчиком в качестве объекта испытания программы было выбрано металлообрабатывающее оборудование цеха №4, организован ввод 269 наименований станков в соответствии со структурой справочника разработанной системы:

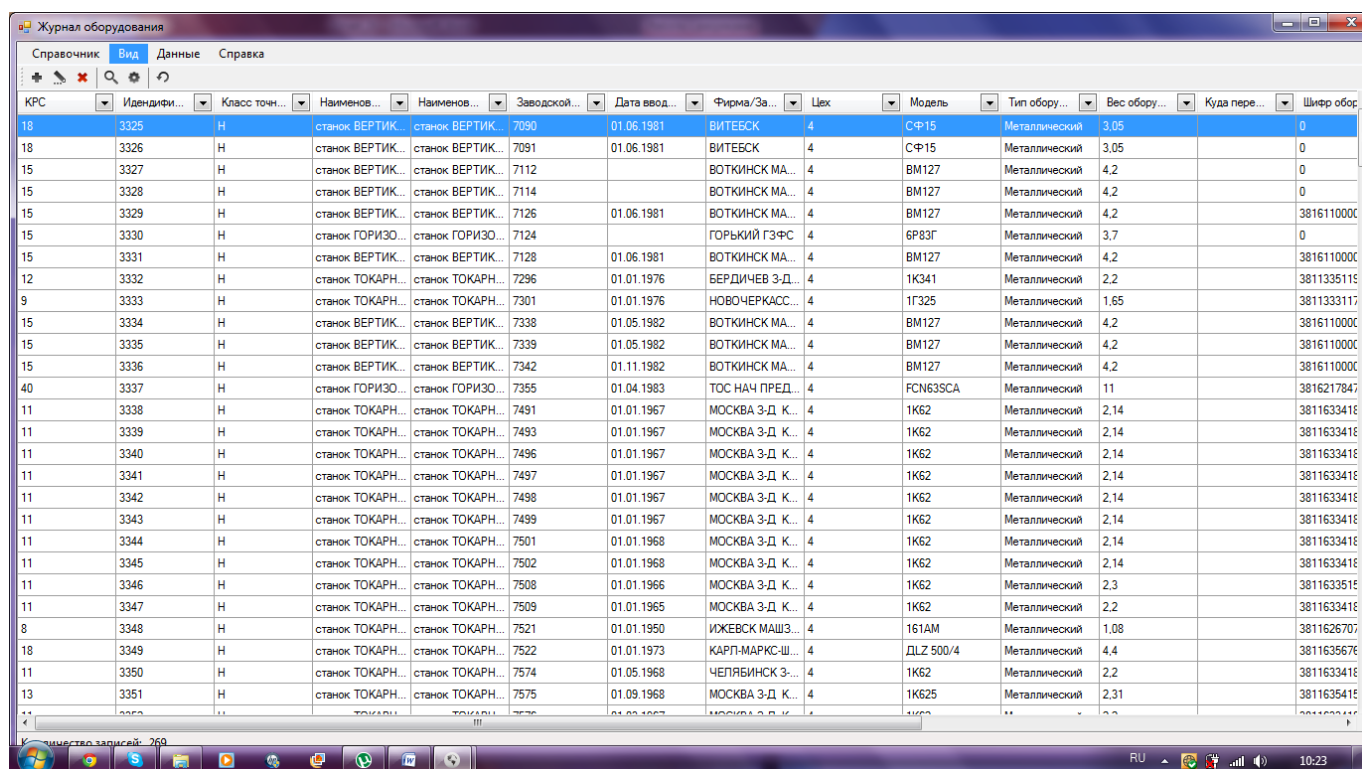
- 1) Идентификатор станка;
- 2) Заводской номер станка;
- 3) Шифр оборудования;
- 4) Фирма/завод изготовитель;
- 5) Модель станка;
- 6) Наименование станка;
- 7) Техническая характеристика станка;
- 8) Дата ввода в эксплуатацию;
- 9) Дата последнего капитального ремонта;
- 10) Номер цеха;
- 11) Коэффициент ремонтной сложности (КРС);
- 12) Тип оборудования;
- 13) Вес оборудования;
- 14) Класс точности оборудования.

Так же было произведено насыщение справочника по периодичности технического обслуживания и ремонтов для металлорежущего оборудования:

- 1) Идентификатор;
- 2) Максимальный КРС (верхняя граница диапазона);
- 3) Минимальный КРС (нижняя граница диапазона);

- 4) Тип оборудования;
- 5) Максимальный вес (для соответствующего КРС);
- 6) Минимальный вес (для соответствующего КРС);
- 7) Класс точности;
- 8) Количество текущих ремонтов;
- 9) Количество ТО1;
- 10) Количество ТО2;
- 11) Количество часов в межремонтном цикле.

Далее представлены результаты тестирования разработанной программной системы. (Рисунок 57). На рисунке 57(а) представлены исходные данные по всем металлорежущим станкам в справочнике «Журнал оборудования». На рисунках 57(б) и 57(в) представлены Ежемесячный и Годовой планы-графики, рассчитанные в соответствии с правилами ППР отраслевой системы технического оборудования и ремонта технологического и подъемно-транспортного оборудования.



The screenshot shows a software window titled 'Журнал оборудования' (Equipment Journal). It contains a table with the following columns: КРС (Machine Type), Идентификационный номер (Identification Number), Класс точности (Accuracy Class), Наименование (Name), Заводской номер (Factory Number), Дата ввода (Date of Introduction), Фирма/Завод (Company/Factory), Цикл (Cycle), Модель (Model), Тип оборудования (Equipment Type), Вес оборудования (Equipment Weight), Куда перемещать (Where to move), and Шифр оборудования (Equipment Code). The table lists various machine tools such as vertical lathes, horizontal lathes, and turning centers, along with their specifications and identification details.

КРС	Идентификационный номер	Класс точности	Наименование	Заводской номер	Дата ввода	Фирма/Завод	Цикл	Модель	Тип оборудования	Вес оборудования	Куда перемещать	Шифр оборудования
18	3325	Н	станок ВЕРТИК...	станок ВЕРТИК...	7090	01.06.1981	ВИТЕБСК	4	СФ15	Металлический	3,05	0
18	3326	Н	станок ВЕРТИК...	станок ВЕРТИК...	7091	01.06.1981	ВИТЕБСК	4	СФ15	Металлический	3,05	0
15	3327	Н	станок ВЕРТИК...	станок ВЕРТИК...	7112		ВОТКИНСК МА...	4	ВМ127	Металлический	4,2	0
15	3328	Н	станок ВЕРТИК...	станок ВЕРТИК...	7114		ВОТКИНСК МА...	4	ВМ127	Металлический	4,2	0
15	3329	Н	станок ВЕРТИК...	станок ВЕРТИК...	7126	01.06.1981	ВОТКИНСК МА...	4	ВМ127	Металлический	4,2	3816110000
15	3330	Н	станок ГОРИЗО...	станок ГОРИЗО...	7124		ГОРЬКИЙ ГЗФС	4	6Р83Г	Металлический	3,7	0
15	3331	Н	станок ВЕРТИК...	станок ВЕРТИК...	7128	01.06.1981	ВОТКИНСК МА...	4	ВМ127	Металлический	4,2	3816110000
12	3332	Н	станок ТОКАРН...	станок ТОКАРН...	7296	01.01.1976	БЕРДИЧЕВ З-Д	4	1К341	Металлический	2,2	3811335115
9	3333	Н	станок ТОКАРН...	станок ТОКАРН...	7301	01.01.1976	НОВОЧЕРКАСС...	4	1Г325	Металлический	1,65	3811333117
15	3334	Н	станок ВЕРТИК...	станок ВЕРТИК...	7338	01.05.1982	ВОТКИНСК МА...	4	ВМ127	Металлический	4,2	3816110000
15	3335	Н	станок ВЕРТИК...	станок ВЕРТИК...	7339	01.05.1982	ВОТКИНСК МА...	4	ВМ127	Металлический	4,2	3816110000
15	3336	Н	станок ВЕРТИК...	станок ВЕРТИК...	7342	01.11.1982	ВОТКИНСК МА...	4	ВМ127	Металлический	4,2	3816110000
40	3337	Н	станок ГОРИЗО...	станок ГОРИЗО...	7355	01.04.1983	ТОС НАЧ ПРЕД.	4	FCN63SCA	Металлический	11	3816217847
11	3338	Н	станок ТОКАРН...	станок ТОКАРН...	7491	01.01.1967	МОСКВА З-Д К...	4	1К62	Металлический	2,14	3811633418
11	3339	Н	станок ТОКАРН...	станок ТОКАРН...	7493	01.01.1967	МОСКВА З-Д К...	4	1К62	Металлический	2,14	3811633418
11	3340	Н	станок ТОКАРН...	станок ТОКАРН...	7496	01.01.1967	МОСКВА З-Д К...	4	1К62	Металлический	2,14	3811633418
11	3341	Н	станок ТОКАРН...	станок ТОКАРН...	7497	01.01.1967	МОСКВА З-Д К...	4	1К62	Металлический	2,14	3811633418
11	3342	Н	станок ТОКАРН...	станок ТОКАРН...	7498	01.01.1967	МОСКВА З-Д К...	4	1К62	Металлический	2,14	3811633418
11	3343	Н	станок ТОКАРН...	станок ТОКАРН...	7499	01.01.1967	МОСКВА З-Д К...	4	1К62	Металлический	2,14	3811633418
11	3344	Н	станок ТОКАРН...	станок ТОКАРН...	7501	01.01.1968	МОСКВА З-Д К...	4	1К62	Металлический	2,14	3811633418
11	3345	Н	станок ТОКАРН...	станок ТОКАРН...	7502	01.01.1968	МОСКВА З-Д К...	4	1К62	Металлический	2,14	3811633418
11	3346	Н	станок ТОКАРН...	станок ТОКАРН...	7508	01.01.1966	МОСКВА З-Д К...	4	1К62	Металлический	2,3	3811633515
11	3347	Н	станок ТОКАРН...	станок ТОКАРН...	7509	01.01.1965	МОСКВА З-Д К...	4	1К62	Металлический	2,2	3811633418
8	3348	Н	станок ТОКАРН...	станок ТОКАРН...	7521	01.01.1950	ИЖЕВСК МАШЗ.	4	161AM	Металлический	1,08	3811626707
18	3349	Н	станок ТОКАРН...	станок ТОКАРН...	7522	01.01.1973	КАРП-МАРКС-Ш.	4	ДЛЗ 500/4	Металлический	4,4	3811635676
11	3350	Н	станок ТОКАРН...	станок ТОКАРН...	7574	01.05.1968	ЧЕЛЯБИНСК З...	4	1К62	Металлический	2,2	3811633418
13	3351	Н	станок ТОКАРН...	станок ТОКАРН...	7575	01.09.1968	МОСКВА З-Д К...	4	1К625	Металлический	2,31	3811635415

Рисунок 57(а) – Функционал «Журнал оборудования».

HTMLReportViewr

Файл

</

Рисунок 57(б) – Отчет системы «Ежемесячный план-график работ».

HTMLReportViewr

Годовой план-график работ

№ цеха	Инвентарный номер	Наименование	Модель	Техническая характеристика	КРС	Год ввода в эксплуатацию	Месяц							
							1	2	3	4	5	6	7	8
4	7090	станок ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫЙ КОНСОЛЬНЫЙ	ВИТЕБСК СФ15	РАЗМЕР ПОВ-ТИ СТОЛА320\$1250	18	1981	ТО2	ТО1	ТО1	Т	ТО1		ТО1	ТО
4	7091	станок ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫЙ КОНСОЛЬНЫЙ	ВИТЕБСК СФ15	РАЗМЕР ПОВ-ТИ СТОЛА320\$1250	18	1981	ТО2	ТО1	ТО1	Т	ТО1		ТО1	ТО
4	7126	станок ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫЙ КОНСОЛЬНЫЙ	ВОТКИНСК МАШЗАВОД ВМ127	РАЗМЕР ПОВ-ТИ СТОЛА400\$1600	15	1981	ТО1		ТО2	Т		ТО1		ТО
4	7128	станок ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫЙ КОНСОЛЬНЫЙ	ВОТКИНСК МАШЗАВОД ВМ127	РАЗМЕР ПОВ-ТИ СТОЛА400\$1600	15	1981	ТО1		ТО2	Т		ТО1		ТО
4	7296	станок ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫЙ ПРУТКОВЫЙ НОРМАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ	БЕРДИЧЕВ 3-Д КОМСОМОЛЕЦ 1К341	НАИБ ДИАМЕТР ПРУТКА 40ММ	12	1976	ТО1		ТО1		ТО1		ТО2	Т
4	7301	станок ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫЙ ОСЬ ГОРИЗОНТ РЕВОЛЬВЕР ГОЛОВКИ	НОВОЧЕРКАССК СТАНКОЗАВОД 1Г325	НАИБ ДИАМЕТР ПРУТКА 25ММ	9	1976	ТО1		ТО1		ТО1		ТО2	Т
4	7338	станок ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫЙ КОНСОЛЬНЫЙ	ВОТКИНСК МАШЗАВОД ВМ127	РАЗМЕР ПОВ-ТИ СТОЛА400\$1600	15	1982			ТО1		ТО1		ТО1	ТО
4	7339	станок ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫЙ КОНСОЛЬНЫЙ	ВОТКИНСК МАШЗАВОД ВМ127	РАЗМЕР ПОВ-ТИ СТОЛА400\$1600	15	1982			ТО1		ТО1		ТО1	ТО
4	7342	станок ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫЙ КОНСОЛЬНЫЙ	ВОТКИНСК МАШЗАВОД ВМ127	РАЗМЕР ПОВ-ТИ СТОЛА400\$1600	15	1982								
4	7355	станок ГОРИЗОНТАЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫЙ КОНСОЛЬНЫЙ	ТОС НАЧ ПРЕДПРИЯТИЕ ЧССР FCN63SCA	РАЗМЕРЫ СТОЛА 630\$2200ММ	40	1983	ТО1	ТО2	ТО1	ТО1		ТО2	ТО1	ТО
4	7491	станок ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНЫЙ НОРМАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ	МОСКВА 3-Д КРАСНЫЙ ПРОЛЕТАРИЙ 1К62	НАИБ ДИАМЕТР ИЗД 400\$1000	11	1967		ТО1		ТО1		ТО1	ТО1	
4	7493	станок ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНЫЙ НОРМАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ	МОСКВА 3-Д КРАСНЫЙ ПРОЛЕТАРИЙ	НАИБ ДИАМЕТР ИЗД 400\$1000	11	1967		ТО1		ТО1		ТО1	ТО1	

RU 10:22

Рисунок 57 (в)58 – Отчет системы «Годовой план-график работ».

В процессе апробации было выявлено, что бюро ППР на этапе согласования годового план-графика так же производит краткую инвентаризацию имеющегося в составе конкретных цехов оборудования. В результате чего в разработанной системе была пересмотрена и исправлена структура выходного отчета и годового

плана-графика. На последней странице годового плана-графика производится краткая инвентаризация оборудования по его типу:

- 1) Металлорежущее; станки с ЧПУ;
- 2) Прессовое; Кузнечное;
- 3) Подъемно-транспортное оборудование (ПТО);
- 4) Литейное;
- 5) Деревообрабатывающее;
- 6) Прочее.

При этом производится расчет количества единиц каждого типа оборудования, суммарная КРС каждого типа оборудования, общее количество единиц по цеху и суммарная КРС по цеху. Годовой план-график визируется Главным механиком, Начальником бюро ППР, Начальником цеха и Механиком цеха.

Полученные решения доказали свою работоспособность и утверждены заказчиком. Акты внедрения приведены в Приложении А.

5.4.4. Решение задач непрерывного улучшения системы ТОиР с помощью разработанных программных модулей

Управление процессом ТОиР ПрО с помощью системы показателей выполнено на данных нескольких промышленных предприятий. Были выбраны классы оборудования, для которых имеется достаточное наполнение баз данных и онтологий.

Создана библиотека КПЭ ТОиР с более, чем 110 показателями. Разработан программный модуль расчета и мониторинга КПЭ ТОиР (Рисунок 57 (г)).

Произведено наполнение формул расчета показателей, настроены запросы к БД. Были выполнены различные аналитические запросы к базам данных и знаний как с помощью модуля КПЭ, так и напрямую с помощью SQL и SPARQL.

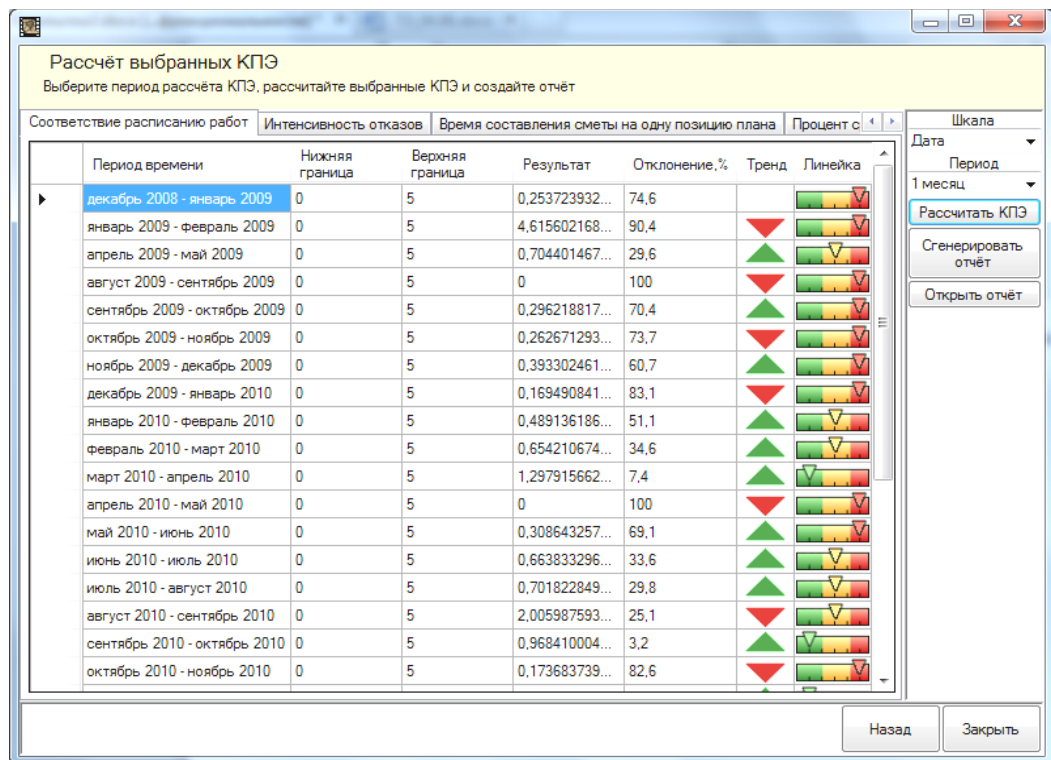


Рисунок 57 (г) – Программный модуль расчета и мониторинга КПЭ ТОиР.

Модуль обладает возможностями анализа показателей различных разрезах.

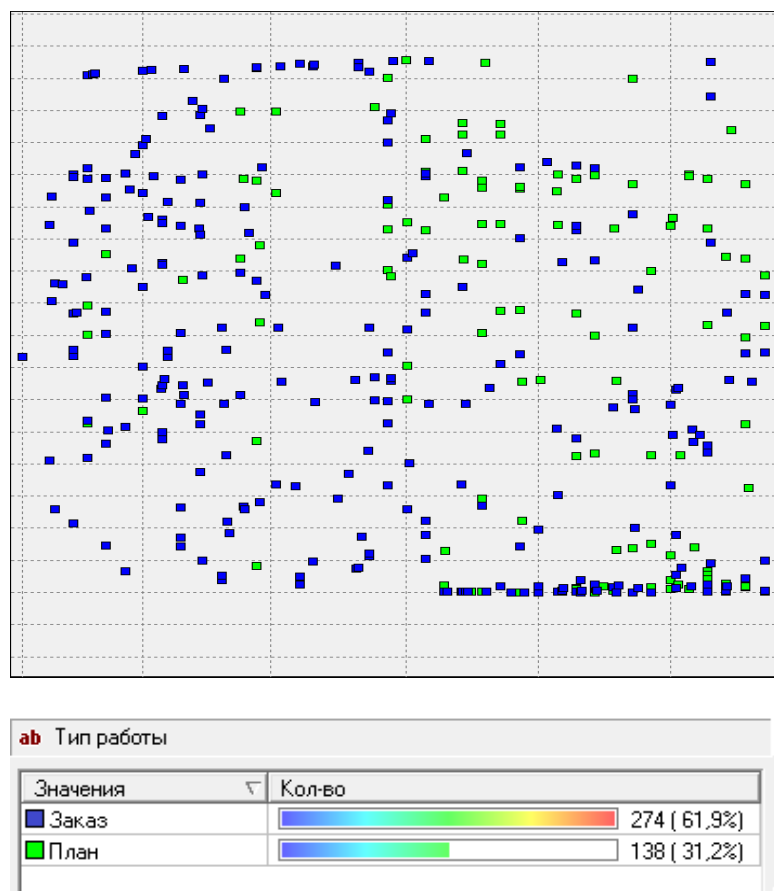


Рисунок 57 (д) – Анализ статистики показателя «Доля плановых работ».

Пример анализа во времени статистики показателя «Доля плановых работ» для насосного оборудования – Рисунок 57 (д)

В данном примере был получен вывод, что доля плановых работ составляла 31,2% от всего объёма работ. После этого для отдельного класса оборудования были применены элементы разработанной методологии. В результате доля плановых работ для этого класса оборудования составила 64,6% (Рисунок 57(е)).

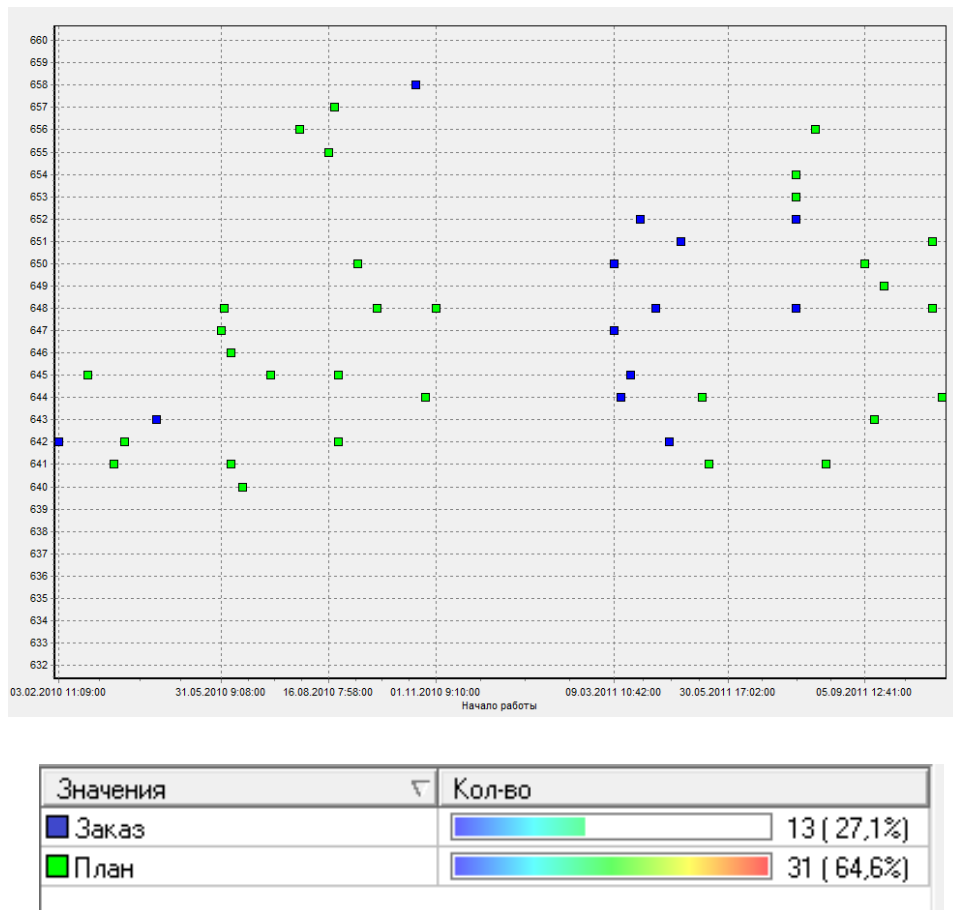


Рисунок 57 (е) – Статистика показателя «Доля плановых работ» после изменений. С помощью подключаемых алгоритмов прогнозирования производится определение вероятных сроков отказа оборудования. Пример – Рисунок 57 (ж).

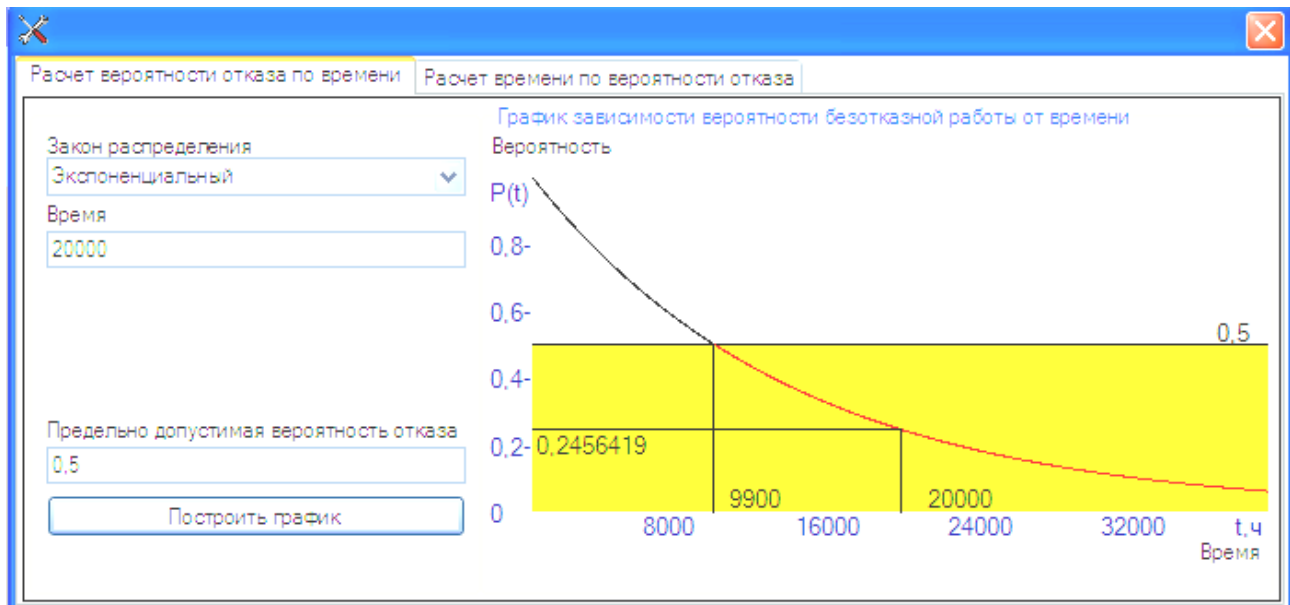


Рисунок 57 (ж) – Определение вероятных сроков отказа оборудования.

На основе полученной информации производится формирование плана работ (Рисунок 57(з)).

План Работ

Документы Ресурсы Типовые работы Вывод Справочники Календарь

Идентификатор работы

Оборудование: Насос НК 200/370 (000242)

Путь: ВМПЗ/КБП/Уст. 60/Н-2

Наименование: ВМПЗ/КБП/Уст. 60/Н-2 (Насос НК 200/370 (000242))

Вид ремонта: Кап.ремонт

Год: 2011

Месяц: Март

Цех: Цех №4

Участок: 3 уч.

Кол-во вып. работ: 1

Единицы измерения: штк.

Трудозатраты за единицу: 300 "Q001"

Трудозатраты всего: 45 "Q002"

Стоимость материалов: 1725

Формула: (((Q001*81.78)*2.56)+(Q002*1.1))*K1*K2*K4

Рассчитать стоимость

Стоимость Работы: 12219,45

Комментарий:

Табличные части

Материалы

Наименование	Ед.измер	Количество	Цена	Стоимость
Подшипник 5-6...	<Пусто>	3	3	9
Подшипник 323...	<Пусто>	1	3	3
Подшипник 664...	<Пусто>	2	3	6
Подшипник 6-217	<Пусто>	3	23	69
Вал 177-Н-1	<Пусто>	4	23	92
Втулка вращ. 6...	<Пусто>	5	2	10
Рабочая камера	<Пусто>	6	2	12

Дополнительные работы

Рассчитать стоимость трудозатрат подработ

Работа	Ед.Измер	Т/затрат
п. 18.11.8(Кривошипно-шатун...	штк.	45

ИД: 42 Состояние: Просмотр

Рисунок 57 (з) – Формирование плана работ.

Таким образом производится непрерывное улучшение системы ТОиР ПрО.

5.5 Основные результаты и выводы по главе 5

Произведена экспериментальная апробация и внедрение научных результатов для повышения эффективности ТОиР ПрО. Сформулирована технология разработки ПО в области автоматизации ТОиР.

Создана методика разработки ПО поддержки ТОиР промышленного оборудования на основе платформы быстрого прототипирования, которая позволяет сократить затраты на проектирование и реализацию новых программно-информационных бизнес-решений поддержки ТОиР промышленного оборудования. Методика состоит из следующих шагов:

- выявление требований к системе поддержки ТОиР;
- разработка проектных решений по программным системам поддержки ТОиР (базовые и модульные функции систем);
- реализация программных средств (бизнес-решений) поддержки ТОиР на основе платформы быстрой разработки;
- проработка методических вопросов организации внедрения и сопровождения.

Разработана методика внедрения программно-информационной поддержки ТОиР промышленного оборудования, позволяющая сократить затраты на внедрение систем поддержки.

Разработаны архитектуры 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.

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.

Разработаны 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. Разработанные системы внедрены в различных организациях и предприятиях, а также ученых заведениях, о чем получены соответствующие акты (Приложение А). Произведены оценки эффективности применения системы. Полученные результаты позволяют оценить повышение эффективности организации ТОиР до 19-20%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

CMMS	компьютеризированная система управления техническим обслуживанием
EAM	система управления основными фондами предприятия
ERP	система планирования ресурсов предприятия
АСТОР	автоматизированная система технического обслуживания оборудования
АСУП	автоматизированная система управления предприятием
АСУТП	автоматизированная система управления технологическими процессами
БД	база данных
БЗ	база знаний
ИА	интеллектуальный агент
ИМ	имитационное моделирование
КП	календарный план
КПЭ	ключевой показатель эффективности
ЛПР	лицо, принимающее решение
МАС	многоагентная система
ППрР	поддержка принятия решений
ППР	планово-предупредительные работы
ПР	принятие решений
ПрО	промышленное оборудование
СТОиР	система технического обслуживания и ремонта
ТО	техническое обслуживание
ТОиР	техническое обслуживание и ремонт
ТОиРО	техническое обслуживание и ремонт оборудования
ТС	техническая система

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Campos, J. An ontology for asset management / J. Campos // IFAC Conference on Cost Effective Automation in Networked. – 2007.
2. Dvoryankin, A. M. The Intelligent Automatic Support System of Machine Building Products Principal Designer / A. M. Dvoryankin, V. A. Kamaev, A. V. Kizim // Proc. IEEE Int. Conf. on Artificial Intelligence Systems. – Divnomorskoe, 2002. – P. 177-179.
3. ERP. Системы управления предприятиями. [Электронный ресурс]. – TAdviser, 2019. – Режим доступа: <http://www.tadviser.ru/index.php/ERP>.
4. Goly, K. A Business-Based Approach to Developing an Effective Program [Электронный ресурс] / K. A. Goly. – Режим доступа : http://reliabilityweb.com/index.php/articles/a_business-based_approach_to_developing_an_effective_program/
5. Handbook on Quality of Service and Network Performance / CCITT. – Geneva, 1993.
6. Intern, Hank. Telecommunication Regulation Handbook / Hank Intern, Jeremy Oliver, Edgardo Sepulveda. – Washington : The World Bank, 2000.
7. Hansen, R. C. Overall Equipment Effectiveness (OEE) / R. C. Hansen. – [Publisher : Industrial Press], 2005.
8. Horrocks, I. SWRL: A semantic web rule language combining OWL and RuleML / I. Horrocks // W3C Member submission. – 2004. – Vol. 21, № 79. – P. 1-31.
9. Towards Collaborative Task and Team Maintenance / G. A. Kaminka, A. Yakir, D. Erusalimchik, N. Cohen-Nov // Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS-07). – 2007.
10. Kantorovich, L. V. Selected Works. Part 2: Applied Functional Analysis. Approximation Methods and Computers» / L. V. Kantorovich. – Gordon and Breach Publishers, 1996.
11. Kaplan, R. S. The Balanced Scorecard: measures that drive performance / R. S. Kaplan, D. P. Norton // Harvard Business Review, Jan. – Feb. – 1992. – P. 71–80.

12. Khan, F. Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance / inspection scheduling and planning / F. Khan, M. Haddara // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2003. – Vol. 16, № 6. – P. 561–573.
13. Kosko, B. Fuzzy Cognitive Maps / B. Kosko // International Journal of Man-Machine Studies. – 1986. – Vol. 24. – P. 65–75.
14. Lawson insight. EAM-Focused ERP, Lawson. – 2006.
15. Levitt, J. Handbook of Maintenance Management / J. Levitt. – Industrial Press, 1997.
16. McArthur, S. D. J. Multi-agent systems for condition monitoring / S. D. J. McArthur, V. M. Catterson // Power Engineering Society General Meeting, June 12–16, 2005 / IEEE. – [Publisher : IEEE], 2005. – P. 1499–1502.
17. Monostori, L. Agent-based systems for manufacturing / L. Monostori, J. Vancza, S. R. T. Kumara // Annals of the CIRP, 55. – 2006. – P. 697–720.
18. MOSMS™ Practice Guide / Japan institute of Plant Maintenance. – 2011.
19. Moubray, J. Reliability Centered Maintenance / J. Moubray. – 2nd Edition. – Publisher (UK) : Butterworth-Heinemann, 1997. – 440 p.
20. Rao, A. S. BDI-agents: From Theory to Practice / A. S. Rao, M. P. Georgeff // Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems (ICMAS'95). – San Francisco, 1995.
21. Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment. – NASA, 2000. – 348 p.
22. Second International Conference on Mathematical Methods in Reliability : Abstracts Book. – Bordeaux (France), 2000.
23. Smith, A. Reliability-Centered Maintenance / A. Smith. – N. Y. : McGraw-Hill, Inc., 1993. – 201 p.
24. The Fast Guide to OEE™ [Электронный ресурс]. – Vorne : Industries Inc., 2008. – Режим доступа : www.oeec.com.

25. Tinhoam, B. Power to the People / B. Tinhoam // Control and Instrumentation. – 1999. – No. 2. – P. 33.
26. Tsvetkov, V. Ya. Information Constructions / V. Ya. Tsvetkov // European Journal of Technology and Design. – 2014. – Vol. 5, No. 3. – P. 147-152.
27. Vikhorev, K. S. The ARTS Real-Time Agent Architecture / K. S. Vikhorev, N. Alechina, B. Logan // Proceedings of Second Workshop on Languages, Methodologies and Development Tools for Multi-agent Systems (LADS2009). CEUR Workshop Proceedings. Vol. 494. – Turin (Italy), 2009.
28. Авдеева, З. К. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) / З. К. Авдеева, С. В. Коврига, Д. И. Макаренко // Управление большими системами : сборник трудов. – 2006. – № 16.
29. Агаджанян, Н. А. Экология человека / Н. А. Агаджанян, В. И. Торшин. – М. : ММП «Экоцентр», Изд. фирма «Крук», 1994. – 225 с.
30. Альтшуллер, Г. С. Алгоритм изобретения / Г. С. Альтшуллер. – М. : Московский рабочий, 1973. – 296 с.
31. Антоненко, И. Н. Информационные системы и практики ТОиР: этапы развития / И. Н. Антоненко, И. Э. Крюков // Главный энергетик. – 2011. – № 10. – С. 37-44.
32. Артоболевский, И. И. Поиск компромиссного решения при выборе машин / И. И. Артоболевский, М. Д. Генкин, Г. В. Крейкин // ДАН СССР. – 1974. – Т. 219, вып. 1. – С. 53-57.
33. Асхат, Ягофаров. «Ноль поломок оборудования» – достижима ли цель? [Электронный ресурс] / Ягофаров Асхад. – 2012. – Режим доступа : [<http://www.leanforum.ru/library/r5/171.html>]
34. Афонин, А. С. Основы мотивации труда / А. С. Афонин. – Киев : МЗУУП, 1994.

35. Ахметжанов, Т. К. Экономический эффект от внедрения проекта информационных технологий в нефтегазовой компании на примере АО «ПЕТРОКАЗАХСТАН» / Т. К. Ахметжанов, А. А. Косанов, Е. К. Ахтанов // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. – 2009. – № 2. – С. 37-41.
36. Баева, Л. С. Модернизация производства как решающий фактор повышения конкурентоспособности продукции / Л. С. Баева, Т. Ю. Пашеева // Вестник МГТУ. – 2010. – Т. 13, № 1. – С. 46-50.
37. Барзилович, Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзилович. – М. : Высшая школа, 1982. – 231 с.
38. Беккер, М. Г. Введение в теорию систем местность – машина / М. Г. Беккер. – М. : Машиностроение, 1973. – 150 с.
39. Булгаков, С. В. Применение мультиагентных систем в информационных системах / С. В. Булгаков // Перспективы науки и образования. – 2015. – №. 5 (17).
40. Быков, В. П. Методика проектирования объектов новой техники : учебное пособие / В. П. Быков. – М. : Высшая школа, 1990. – 168 с.
41. Вагин, В. Н. Разработка метода интеграции информационных систем на основе моделирования и онтологии предметной области / В. Н. Вагин, И. С. Михайлов // Программные продукты и системы. – 2008. – № 1 (81). – С. 22-26.
42. Вейдер, М. Инструменты бережливого производства : мини-руководство по внедрению методик бережливого производства : пер. с англ. / М. Вейдер. – 2-е изд. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2006. – 125 с.
43. Венцель, Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Венцель, Л. А. Овчаров. – М. : Наука, 1991.
44. Вишневский, В. М. Анализ вариантов организации многомашинных вычислительных центров в автоматизированных системах массового обслуживания

ния с учетом надежности / В. М. Вишневский, Б. И. Ребортович, Г. А. Тимохова // Автоматика и телемеханика. – 1977. – № 9.

45. Волков, Л. И. Управление эксплуатацией летательных комплексов / Л. И. Волков. – М. : Высшая школа, 1981. – 368 с.

46. Всеобщее обслуживание оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.kaizen-tmz.ru/faq/index.php?SECTION_ID=80].

47. Герцбах, И. Б. О профилактике по прогнозирующему параметру / И. Б. Герцбах // Известия АН СССР. Сер.: Техническая кибернетика. – 1967. – № 1. – С. 56–64.

48. Глазунов, В. Н. Параметрический метод разрешения противоречий в технике / В. Н. Глазунов. – М. : Речной транспорт, 1990. – 150 с.

49. Голуб, Е. С. Диагностирование судовых технических средств / Е. С. Голуб, Е. З. Мадорский, Г. Ш. Розенберг. – М. : Транспорт, 1993. – 150 с.

50. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – М. : Стандартиформ, 2007.

51. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения (с изменениями). – М. : Стандартиформ, 2007.

52. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. – М. : Стандартиформ, 2007.

53. ГОСТ 27.310-95. ГОСТ в актуальной редакции. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. – М. : Стандартиформ, 2007.

54. ГОСТ 27578-87. Техническая диагностика. Диагностирование изделий. Общие требования. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 20 с.

55. Дворянкин, А. М. К вопросу построения интегрированной системы автоматизации проектирования жизненного цикла объектов техники / А. М. Дворянкин // Методы поискового конструирования в системах автоматизированного проектирования. – Йошкар-Ола : МарГУ, 1986. – С. 94-102.

56. Дворянкин, А. М. Автоматизация поискового конструирования. Мо-

дели, задачи, алгоритмы : дис. ... д-ра техн. наук / Александр Михайлович Дворянкин. – Волгоград, 1996.

57. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М. : Мир, 1980.

58. Диагностирование дизелей / Е. А. Никитин, Л. В. Станиславский, Э. А. Улановский [и др.]. – М. : Машиностроение, 1987. – 224 с.

59. Дитрих, Я. Проектирование и конструирование: системный подход : пер. с англ. / Я. Дитрих. – М. : Мир, 1981. – 456 с.

60. Заболеева-Зотова, А. В. Лингвистическое обеспечение автоматизированных систем : учебное пособие / А. В. Заболеева-Зотова, В. А. Камаев. – М. : Высшая школа, 2008. – 244 с.

61. Заболотский, М. А. Когнитивное моделирование – уникальный инструмент для анализа и управления сложными системами (регион, отрасль промышленности, крупное предприятие) / М. А. Заболотский, И. А. Полякова, А. В. Тихонин // Успехи современного естествознания. – 2005. – №. 2. – С. 28-28.

62. Модернизация станочного парка промышленных предприятий / В. М. Зайцев, Л. П. Толстых, Н. К. Медведев, С. М. Гора, С. М. Воронин, В. К. Медведев. – М. : Инфра-Инженерия, 2018.

63. Инженерно-авиационное обеспечение боевой подготовки и боевых действий авиации вооруженных сил и эксплуатация авиационного вооружения. Часть 1 /под ред. О. А. Лапсакова. – М.: ВВИА им. Жуковского, 1997. – 262 с.

64. Ипатов, М. М. Техничко-экономическая оценка конструкций автомобилей при проектировании / М. М. Ипатов. – М.: Машгиз, 1963.

65. Какубава, Р. В. Длительность простоя – важный показатель надежности: о простое дублированных систем / Р. В. Какубава // Надежность. –2003. – № 3. – С. 169.

66. Какубава, Р. В. Система обслуживания с дублированием / Р. В. Какубава, И. С. Микадзе // Кибернетика. – 1985. – № 3.

67. Калягин, В. И. Типовая система технического обслуживания и ремонта металло- и деревообрабатывающего оборудования / В. И. Калягин, Ф. С. Сабиров ; Минстанкопром СССР, ЭНИМС. – М.: Машиностроение, 1988. – 672 с.
68. Камаев, В. А. Разработка и применение модели автоматизированной системы управления информационными процессами к задаче мониторинга состояния оборудования / В. А. Камаев, В. В. Лежебоков // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – № 9. – С. 18-22.
69. Кандырин, Ю. В. Методы и модели многокритериального выбора вариантов в САПР : учебное пособие для вузов / Ю. В. Кандырин. – М. : Издательство МЭИ, 2004. – 172 с.
70. Кандырин, Ю. В. Методика формирования оптимальных очередей ремонтов по техническим характеристикам объектов / Ю. В. Кандырин, А. Е. Московский, Г. Л. Шкурина // Известия Волгоградского государственного технического университета. – Волгоград, 2007. – № 2. – С. 110-114.
71. Капустян, В. М. Конструктору о конструировании атомной техники / В. М. Капустян, Ю. А. Махотенко. – М. : Атомиздат, 1981. – 190 с.
72. Кеннеди, Р. Взаимодействие 5S и TPM в системе TPM / Р. Кеннеди, Л. Мацца // Методы менеджмента качества. – 2004. – № 8. – С. 9-15.
73. Кизим, А. В. Программно-информационный комплекс систем поддержки деятельности главного конструктора машиностроительного предприятия / А. В. Кизим, А. М. Дворянкин, В. А. Камаев // Сетевой электронный научный журнал «Системотехника». – 2003. – № 1.
74. 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. – № 2-2.
75. Кизим, А. В. Исследование и разработка методики автоматизации ремонтных работ предприятия / А. В. Кизим, Н. А. Линев // Известия ВолгГТУ. Сер.

Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – Волгоград, 2008. – № 2, вып. 4. – С. 43–45.

76. Кизим, А. В. Модели объекта проектирования для автоматизации работы главного конструктора машиностроительного предприятия : дис. ... канд. техн. наук / Кизим Алексей Владимирович. – Волгоград, 2002.

77. Повышение производительности эксплуатации оборудования с использованием системного подхода / А. В. Кизим, Е. В. Чиков, В. А. Камаев, С. В. Шевченко // Вісник національного технічного університету «ХПІ» : зб. наук. праць. Тем. випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». – 2012. – № 30. – С. 40-46.

78. 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 (декабрь). – С. 131-135.

79. 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, В. М. Денисов // Известия ВолгГТУ. Вып. 18 : межвуз. сб. науч. тр. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 22 (125). – С. 67-72.

80. Кизим, А. В. Аппарат универсального представления технической системы / А. В. Кизим, А. М. Дворянкин, О. А. Сычев // Материалы международной научно-практической конференции / ЮРГТУ. – Новочеркасск, Изд-во ЮРГТУ (НПИ), 2001. – Ч. 1. – С. 32-34.

81. Кизим, А. В. Программно-информационная поддержка технического обслуживания и ремонта оборудования с учетом интересов субъектов процесса / А. В. Кизим, Е. В. Чиков, В. Ю. Мельник, В. А. Камаев // Информатизация и связь. – 2011. – № 3. – С. 57-59.

82. Кизим, А. В. Обоснование необходимости автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования / А. В. Кизим // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 6 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – № 6. – С. 118-121.

83. Кизим, А. В. Задачи и методы поддержки ТОиР оборудования на протяжении его жизненного цикла / А. В. Кизим // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 13 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – № 4 (91). – С. 55-59.

84. Кизим, А. В. Комплексный методологический подход к решению задач поддержки технического обслуживания и ремонта оборудования / А. В. Кизим // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 18 : межвуз. сб. науч. тр. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 22 (125). – С. 60-66.

85. Кизим, А. В. Модернизация системы программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта оборудования / А. В. Кизим, Е. В. Чиков // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе (IT+SE'10). Майская сессия (Украина, Крым, Ялта-Гурзуф, 20-30 мая 2010 г.) : материалы XXXVII междунар. конф. и дискуссионного науч. клуба : прилож. к журн. «Открытое образование» / РАН [и др.]. – Б/м, 2010. – С. 44-46.

86. Кизим, А. В. Надежность, эргономика и качество АСОиУ : учеб.-метод. комплекс : свидетельство об отраслевой регистрации разработки 5921 : за-регистр. в Отрасл. фонде алгоритмов и программ 30.03.2006 : учеб. пособие / А. В. Кизим ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

87. Кизим, А. В. О методологических аспектах решения задач программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта / А. В. Кизим, С. В. Шевченко // Вісник національного технічного університету «ХПІ» :

зб. наук. праць. Тем. випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології». – 2011. – № 35. – С. 56-61.

88. Кизим, А. В. Организация программно-информационной поддержки методологий технического обслуживания и ремонта / А. В. Кизим // Сборник научных трудов SWorld : материалы междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2012». – 2012. – Вып. 4, т. 12. – С. 86-88.

89. Кизим, А. В. Повышение эффективности процессов эксплуатации оборудования путём использования системы ключевых показателей ремонтных служб / А. В. Кизим, Е. В. Чиков // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе IT+SE`2012 : приложение к журналу «Открытое образование» : материалы XXXX юбил. междунар. конф., X междунар. конф. молодых учёных (майская сессия, Крым, Ялта-Гурзуф, 25 мая – 4 июня 2012 г.) / ИПУ РАН, ГУ-ВШЭ, МГУПИ [и др.]. – [М.], 2012. – С. 163-166.

90. Кизим, А. В. Поддержка принятия решений для проведения дорожных работ и мониторинга техники / А. В. Кизим, М. В. Денисов // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 16 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 8 (111). – С. 64-67.

91. Кизим, А. В. Применение методологии ТРМ для повышения эффективности предприятий и организаций / А. В. Кизим // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 13 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – № 4 (91). – С. 117-122.

92. 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/ под науч. ред. Ю. Н. Кофанова ; Науч. школа «АСОНИКА», НИУ ВШЭ, РАЕН [и др.]. – Москва ; Сочи, 2015. – С. 66-68.

93. Кизим, А. В. Создание системы программно-информационной поддержки технического обслуживания и ремонта АСТОР / А. В. Кизим // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях : сб. матер. 12 междунар. промышл. конф. (п. Плавья, Карпаты, 13-17 февр. 2012 г.) / Украинский информ. центр «Наука. Техника. Технология». – Киев, 2012. – С. 11-14.

94. Кизим, А. В. Структурно-функциональная параметрическая модель объектов проектирования как инвариант / А. В. Кизим // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2004. – № 2. – С. 45-54.

95. Колпаков, В. М. Теория и практика принятия управленческих решений : учебное пособие / В. М. Колпаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев : МАУП, 2004. – 504 с.

96. Конструирование и расчет колесных машин высокой проходимости : учебник для втузов / под общ. ред. Н. Ф. Бочарова, И. С. Цитовича. – М. : Машиностроение, 1983. – 299 с.

97. Кривошеков, В. Е. Концепция всеобщего качества как национальная идея формирования государственной морской политики и первооснова инноваций в судоходство Украины // Сборник докладов 2-й Всеукраинской научно-практической конференции «Судоходство Украины – инновации флота, портов и грузоперевозок» (30 мая – 1 июня 2001 г., г. Феодосия). – Николаев : ЮАПК, 2001. – С. 109-121.

98. Кулинич, А. А. Когнитивная система поддержки принятия решений «Канва» / А. А. Кулинич // Программные продукты и системы. – 2002. – № 3.

99. Курочкин, А. С. Организация производства : учебное пособие / А. С. Курочкин ; Межрегион. акад. упр. персоналом. – Киев : МАУП, 2001. – 216 с.

100. Лежебоков, В. В. Разработка и применение модели автоматизированной системы управления информационными процессами к задаче мониторинга

состояния оборудования / В. В. Лежебоков, В. А. Камаев // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – № 9. – С. 18-22.

101. Литвиненко, Ю. С. Системный подход к созданию транспортных средств повышенной проходимости / Ю. С. Литвиненко // Механизация строительства трубопроводов и газонефтепромысловых сооружений. – 1982. – № 11. – С. 12-16.

102. Маркелов, В. М. Применение мультиагентных систем для управления логистическими системами / М. М. Маркелов // Славянский форум. – 2014. – № 2 (6). – С. 82-87.

103. 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. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 12 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – № 11. – С. 107-110.

104. 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. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 12 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – № 11. – С. 103-106.

105. Мирвис, Ф. В пустыню и обратно: история самого грандиозного корпоративного тренинга : пер. с англ. / Ф. Мирвис, К. Аяс, Д. Рот. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2006. – 267 с.

106. Момот, А. И. Эффективность использования оборудования – новый подход / А. И. Момот, П. И. Самойлов // Економічний вісник Донбасу. – 2011. – № 2 (24). – С.194-198.

107. Новые конструкционные материалы – основа повышения технического уровня и качества сельскохозяйственной техники // Всесоюзная научно-практическая конференция : сб. тез. докл. – М. : АН СССР, Госплан СССР, ГКНТ СССР, Минавтосельмаш СССР, 1989. – 113 с.

108. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования / И. П. Норенков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 432 с.
109. Кизим, А. В. Обобщение типовых функций процесса управления работоспособностью системы / А. В. Кизим // Открытое образование : приложение к журналу [по матер. междунар. конференций, Ялта-Гурзуф, 20-30 мая 2009 г.]. – 2009. – Б/н. – С. 180–181.
110. Овсянников, М. В. От концепции CALS к виртуальным логистическим системам [Электронный ресурс] / М. В. Овсянников, П. С. Шильников. – Режим доступа : <http://www.bmstu.ru/~rk9/rus/hight/CALSvirt.htm>.
111. Ориентировочное определение затрат, необходимых для реализации плана ППР предприятия. Система стандартов «Модернизация и ремонт металлообрабатывающего оборудования» [Электронный ресурс]. – М. : Станкоинструмент, 2007. – Режим доступа : stankoinstrument.ru/d/56735/d/sti-mir_-005-07.doc.
112. Орлов, И. Н. Системы автоматизированного проектирования электромеханических устройств / И. Н. Орлов, С. И. Маслов. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 296 с.
113. Основы управления производством. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 128 с.
114. Палюх, Б. В. Представление знаний в системах автоматизированного проектирования и управления технологическими процессами / Б. В. Палюх, Г. Б. Бурдо // Вестник Тамбовского гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 258-265.
115. Переход к ТОиР, ориентированному на надежность (24 февраля 2011 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.urpro.ru/library/repair/toir_efficiency/perehod-k-toir.html
116. Подиновский, В. В. Количественные оценки важности критериев в многокритериальной оптимизации / В. В. Подиновский // НТИ. Серия 2. Информационные процессы и системы. – 1999. – № 5 – С. 22–25.
117. Половинкин, А. И. Основы инженерного творчества : учебное пособие для студентов втузов / А. И. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.

118. Положение о проведении планово-предупредительного ремонта производственных зданий и сооружений [Электронный ресурс]. – М. : Госстрой СССР, 1973. – Режим доступа : http://to-ppr.spb.ru/documentation/19-MDS_13-14.2000.pdf
119. Прангишвили, И. В. Системный подход и общесистемные закономерности / И. В. Прангишвили. – М. : СИНТЕГ, 2000. – 528 с.
120. Проников, А. С. Надежность машин / А. С. Проников. – М. : Машиностроение, 1978. – 592 с.
121. Пшенников, В. В. Качество через ТРМ, или О предельной эффективности промышленного оборудования / В. В. Пшенников // Методы менеджмента качества. – 2001. – № 10. – С. 10-15.
122. Каплан, Р. Организация, ориентированная на стратегию. Как в новой бизнес-среде преуспевают организации, применяющие сбалансированную систему показателей / Р. Каплан, Д. Нортон. – М. : Олимп-Бизнес, 2009. – 416 с.
123. Рагимова, С. Цифровая Индустрия 4.0 [Электронный ресурс] – Режим доступа : <https://www.forbes.ru/brandvoice/sap/345779-chetyre-nol-v-nashu-polzu>.
124. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход : пер. с англ. / С. Рассел, П. Норвиг. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2019. – 1408 с.
125. РД-50-464-84. САПР. Типовые математические модели объектов проектирования в машиностроении. РД-50-46484. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 202 с.
126. Результаты бережливого производства в различных отраслях [Электронный ресурс]. – 2005. – Режим доступа : www.orgprom.ru
127. Решетов, Д. Н. Работоспособность и надежность деталей машин / Д. Н. Решетов. – М. : Высшая школа, 1984.
128. Решетов, Д. Н. Надежность машин / Д. Н. Решетов, А. С. Иванов, В. З. Фадеев. – М. : Высшая школа, 1988. – 238 с.
129. РО-6-1-001. Распределение обязанностей высшего руководства ООО «Волгоградсервис». – 2-я ред. – № 2. – 7 с.

130. Системы компьютерного управления обслуживанием оборудования. CMMS. Системы компьютерного управления обслуживанием оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.tadviser.ru/index.php/>
131. Системы управления основными фондами предприятия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.tadviser.ru/index.php/EAM>
132. Советский энциклопедический словарь. – М. : Сов. энциклопедия, 1984.
133. Совмещение системы ППР с ремонтом по состоянию [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.galaktika.ru/eam/sovmeshhenie-sistemy-ppr-s-remontom-po-sostoyaniyu.html>.
134. Соломенцев, Ю. М. Когнитивные технологии в конструкторско-технологической информатике / Ю. М. Соломенцев, Г. Д. Волкова // Вестник МГТУ Станкин. – 2008. – №. 4. – С. 132-135.
135. СТИ–МиР–005–06. Ориентировочное определение затрат, необходимых для реализации плана ППР предприятия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.stanko-remont.ru/index.php?pageID=30>
136. СТП ООО «ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка» СМК 06-48. Техническое обслуживание, ремонт и контроль технического состояния оборудования, технологических установок и общезаводского хозяйства. – Волгоград : ЛУКОЙЛ-Волгограднефтепереработка, 2004. – 90 с.
137. Стрельников, В. П. Новая технология исследования надежности машин и аппаратуры / В. П. Стрельников // Математические машины и системы. – 2007. – Т. 1, № 3-4. – С. 227-238.
138. Тарасов, В. Б. Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте / В. Б. Тарасов // Новости искусственного интеллекта. – 1998. – № 2. – С. 5-63.
139. Теплышева, Е. В. Автоматизация планирования ремонта пассажирских вагонов в АСУ «Экспресс-2» / Е. В. Теплышева, Е. А. Веселова // Научно-

практическая конференция. Опыт разработки, эксплуатации и перспективы развития «Экспресс». – М., 1997. – С. 104-110.

140. ТРМ в простом и доступном изложении / пер. с яп. А. Н. Стерляжникова ; под науч. ред. В. Е. Растимешина, Т. М. Куприяновой. – М. : РИА «Стандарты и качество», 2008. – 128 с.

141. Укрупненные типовые нормы времени на работы по ремонту металлорежущего оборудования (по видам ремонта). – М. : ЦБНТ, 1984.

142. Управление профилактикой в организационно-технических системах. / под общ. ред. Ю. Т. Зырянова. – М. : АСТ-ПРЕСС Книга, 2005. – 160 с.

143. Уроки управления от Г. Форда [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://v-ger.ru/management-lessons-from-henry-ford/>

144. Ушаков, И. А. Откуда есть пошла надежность на Руси / И. А. Ушаков // Методы менеджмента качества. – 2009. – № 1. – С. 10-13.

145. Федина, С. Ю. Внедрение системы ТРМ: продолжение следует / С. Ю. Федина, А. Ю. Бурашников // Методы менеджмента качества. – 2006. – № 6. – С. 12-16.

146. Хазов, Б. Ф. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования / Б. Ф. Хазов, Б. А. Дидусев. – М. : Машиностроение, 1986. – 224 с.

147. Хартман, К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер. – М. : Мир, 1977.

148. Хуродзе, Р. А. Надежность аналоговых устройств систем управления / Р. А. Хуродзе. – М. : Наука, 2000.

149. Хуродзе, Р. А. О новых подходах в теории и практике надежности резервированных систем / Р. А. Хуродзе // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2001. – № 3.

150. Хуродзе, Р. А. О надежности планировании технических систем: математический подход / Р. А. Хуродзе, Р. В. Какубава // Вестник Российской Академии Естественных наук. – 2003. – № 4.
151. Цифровая экономика и Индустрия 4.0: новые вызовы: труды научно-практической конференции с международным участием / под ред. А. В. Бабкина. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2018. – 573 с.
152. Цыбин, А. П. Когнитивное моделирование процессов самообучающейся организации [Электронный ресурс] / А. П. Цыбин // Открытое образование. – 2006. – № 4. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/kognitivnoe-modelirovanie-protsessov-samoobuchayuscheysya-organizatsii>.
153. Цырков, А. В. Структурно-параметрическая модель / А. В. Цырков, Г. Е. Семенов, В. А. Федоров. – М. : МАТИ, 2002.
154. Ченцов, Н. А. Организация, управление и автоматизация ремонтной службы : учебник / Н. А. Ченцов ; под ред. В. Я. Седуша ; Донецкий национальный технический университет. – Донецк : Норд-Пресс-УНИТЕХ, 2007. – 258 с.
155. Шаракшанэ, А. С. Испытание программ сложных автоматизированных систем : учебное пособие / А. С. Шаракшанэ, А. С. Шахин, А. К. Халецкий. – М. : Высшая школа, 1982.
156. Шевченко, С. В. Управление развитием сложных систем с учетом стадии их жизненного цикла / С. В. Шевченко // Вестник НТУ «ХПИ» : сб. науч. тр. Тем. вып. «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Харьков : НТУ «ХПИ», 2007. – № 18. – С. 154-157.
157. Шевчук, В. П. Основы проектирования машин : учебное пособие / В. П. Шевчук, А. В. Кизим, Н. А. Фоменко ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2001. – 94 с.
158. Шор, Я. Б. Таблицы для анализа и контроля надежности / Я. Б. Шор, Ф. И. Кузьмин. – М. : Советское радио, 1968. – 288 с.
159. Шураев, О. П. Обработка экспериментальных данных о надежности объектов / О. П. Шураев. – Н. Новгород : ВГАВТ, 2001. – 48 с.

160. Шураев, О. П. Основы теории надежности. Конспект лекций / О. П. Шураев. – Н. Новгород : ВГАВТ, 2005. – 100 с.
161. Шураев, О. П. Первичная обработка результатов статистических наблюдений / О. П. Шураев. – Н. Новгород : ВГАВТ, 2004. – 44 с.
162. Шураев, О. П. Расчет показателей надежности с использованием статистических распределений / О. П. Шураев. – Н. Новгород : ВГАВТ, 2005. – 23 с.
163. Экономика машиностроения / Е. М. Карлик, К. М. Великанов, В. Ф. Власов [и др.] ; под ред. Е. М. Карлика. – Л., 1985.
164. Ящура, А. И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования : справочник / А. И. Ящура. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2005.
165. Ящура, А. И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования : справочник / А. И. Ящура. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2005.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А – Документы, подтверждающие внедрение результатов диссертации


 ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
 ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
БАРРИКАДЫ
 (ОАО «ПО «Баррикады»»)

401001, Рязань, Вокзальная
 Телефон: (8442) 76-39-70, факс: (8442) 72-82-15
 Телеграф: 113125 200100
 E-mail: zakaz@barrikady.ru
www.barrikady.ru
 ОКПО-01500149 ОГРН-105479024531
 ИНН 44-02100445 КПП 50/050101

от 15.09.2011 г. _____

к № _____ от _____

АКТ
 о внедрении (использовании) результатов
 диссертационной работы
Кизима Алексея Владимировича

Результаты диссертационной работы «Программно-информационная поддержка процесса технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, использованы в процессе организации планирования и учета ремонта и обслуживания оборудования предприятия, а так же для организации сбора информации о функционировании оборудования и формирования графиков технического обслуживания и ремонта.

Использование указанных результатов позволяет повысить эффективность и качество обслуживания оборудования, сократить непроизводительные затраты и внеплановые простои оборудования на 10-15% и выявить перечень оборудования, нуждающегося в замене или модернизации.

Зам. генерального директора
 по развитию ОАО «ПО «Баррикады»


 Суслонков К.В.





ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

«ЦЕНТРАЛЬНОЕ
КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
«ТИТАН»

Булварная улица – промышленная зона

(ОАО «ЦКБ «ТИТАН»)

400071, Екатеринбург, пр. Ленина

Тел. (3437) 27-19-10

Факс (3432) 27-57-25, 27-49-20

E-mail: tsb@o33.ru

ОГРН: 10271000450034022

ИН-240710000000450034022

от 26.10.2014 № 15.532/6-121

на № _____ от _____

АКТ

о внедрении (использовании) результатов
диссертационной работы

Кизима Алексея Владимировича

Результаты диссертационной работы «Программно-информационная поддержка процесса технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, использованы в процессе разработки методики планирования и учета ремонта и обслуживания оборудования предприятия, формирования графиков технического обслуживания и ремонта. Предполагается использование полученных результатов для интеграции с аппаратно-программным комплексом «FOREMAN» (ЗАО «ЛОЦНИТЬ») и «1С: Управление производственным предприятием» в 2015 году, при решении задач управления производством на уровне цеха.

Использование указанных результатов позволяет повысить эффективность обслуживания оборудования, оптимизировать его использование, получить информацию по необходимости обновления парка оборудования, сократить затраты на обслуживание и ремонт на 8-12%, минимизировать простои оборудования.

Заместитель генерального конструктора
по проектированию

Начальник отделения 5



В.А. Серов

А.И. Фролов



Волгоградсервис

Общество с ограниченной ответственностью «Волгоградсервис»
400028, Российская Федерация, г. Волгоград, ул. 40 лет ВЛКСМ, 65
Телефон: (8442) 86-31-29; факс: (8442) 49-95-14 (доб. 103)
e-mail: office@volgograd-service.ru

ОГРН: 1043403000081
ИНН: 3440031805
КПП: 3440301001
ОКПО: 72043503

Расчетный счет: 40702810200110000404
«ФКБ» «Петрокоммерц» в г. Волгограде, г. Волгоград
Корреспондентский счет: 30101810800000000853
БИК: 041524053

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «Волгоградсервис»



А.Г. Елин

2014 года

АКТ

о внедрении (использовании) результатов
диссертационной работы
Кизима Алексея Владимировича

Результаты научной работы Кизима А.В. «Прогнозно-информационное сопровождение процесса технического обслуживания и ремонта (ТОиР) общепромышленного оборудования», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, использованы в процессе организации работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования, осуществляемых сервисным предприятием ООО «Волгоградсервис».

Разработанные алгоритмы и методы использовались для ведения базы обслуживаемого оборудования, материалов и работ, организации формирования планов технического обслуживания и ремонта, ведомостей материалов и работ, а также журналов учета проведенных работ.

Разработанная под руководством А.В. Кизима «Система автоматизации процессов поддержки технического обслуживания и ремонта» реализована в виде исполняемого приложения и на протяжении нескольких лет эксплуатируется в ООО «Волгоградсервис». Научно-техническая и практическая ценность полученных результатов и продукция, достигнутые технико-



ВТПП



Организация - член
Волгоградской региональной
академии наук



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА

«17» ноября 2014г.
Исх. № 2014/1117-1-М

г. Москва

АКТ

о внедрении (использовании) результатов
диссертационной работы
Кизима Алексея Владимировича

Результаты научной работы Кизима А.В., связанной с программно-информационным и методическим сопровождением процесса технического обслуживания и ремонта (ТОиР) общепромышленного оборудования, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, используются в Научно-производственной фирме «Магни».

Разработанные алгоритмы и методы могут быть использованы для ведения паспортов оборудования, базы данных ремонтных материалов и работ, организации формирования планов технического обслуживания и ремонта, ведомостей материалов и работ, и учета проведенных работ.

Научно-техническая и практическая ценность полученных результатов и продукции, достигнутые технико-экономические показатели, степень новизны и оригинальности разработки – высокие. Полученные результаты и продукция для практического использования готовы.

Использование указанных результатов позволило повысить эффективность ТОиР, в том числе планирования ремонтных работ, объемов ресурсов, трудозатрат. В результате можно оценить повышение общей эффективности организации процессов ремонта и технического обслуживания на 17-19%.

Генеральный директор,
к.т.н.



А.В. Ионин



Приложение Б – Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2008614334
Система автоматизации ремонтных служб предприятия

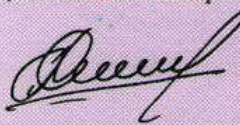
Правообладатель(ли): **Общество с ограниченной ответственностью «АРМСофт» (RU)**

Автор(ы): **Кизим Алексей Владимирович, Линёв Николай Алексеевич, Минаков Василий Андреевич (RU)**

Заявка № **2008613962**
Дата поступления **28 августа 2008 г.**
Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
10 сентября 2008 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

об официальной регистрации программы для ЭВМ

№ 2007613560

Автоматизированная система прогнозирования и планирования
обслуживания оборудования предприятияПравообладатель(ли): *Общество с ограниченной
ответственностью «АРМСофт» (RU)*Автор(ы): *Линёв Николай Алексеевич, Кизим Алексей
Владимирович (RU)*

Заявка № 2007612651

Дата поступления 27 июня 2007 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
22 августа 2007 г.Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства): <u>2017611705</u>	Авторы: Никитин Никита Андреевич (RU), Кизим Алексей Владимирович (RU), Матохина Анна Владимировна (RU)
Дата регистрации: 08.02.2017	
Номер и дата поступления заявки: 2016663689 13.12.2016	Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ) (RU)
Дата публикации: <u>08.02.2017</u>	
Контактные реквизиты: нет	

Название программы для ЭВМ:

**Мультиагентная система мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния
технической системы на примере автомобиля**

Реферат:

Программа предназначена для мониторинга, диагностики и прогнозирования состояния технической системы на примере автомобиля. Может применяться в автосервисах для диагностики и прогнозирования состояния автомобиля. Программа обеспечивает выполнение следующих функций: получение информации о состоянии автомобиля, получение подробной информации о состоянии каждого параметра автомобиля, получение справки по использованию программы, получение информации о прогнозировании состояния автомобиля, работа с некоторыми параметрами автомобиля: задание и получение параметров.

Тип реализующей ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК

Язык программирования: C#, .NET

Вид и версия операционной системы: Windows 8.1

Объем программы для ЭВМ: 65,93 Кб

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU

2017611759

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): <u>2017611759</u>	Авторы: Нестеров Борислав Владимирович (RU), Кизим Алексей Владимирович (RU), Матохина Анна Владимировна (RU)
Дата регистрации: 09.02.2017	
Номер и дата поступления заявки: 2016663680 13.12.2016	Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ) (RU)
Дата публикации: <u>09.02.2017</u>	

Название программы для ЭВМ:

Программа автоматизации наполнения онтологий

Реферат:

Программа предназначена для автоматизации процесса наполнения онтологий. Программа может применяться при экспертном проектировании и создании баз знаний, которые, в свою очередь, могут применяться для решения научных, производственных или учебных задач. Программа обеспечивает выполнение следующих функций: считывание онтологии из owl-файла; наполнение онтологии экземплярами из другой онтологии; наполнение онтологии экземплярами из csv-файла; создание субдерева основной онтологии.

Тип реализующей ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК

Язык программирования: Java

Вид и версия операционной системы: Windows 8.1

Объем программы для ЭВМ: 24,2 Кб

Свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ

1. 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.

2. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017611705 от 8 февраля 2017 г. Российская Федерация. Мультиагентная система мониторинга, диагно-

стики и прогнозирования состояния технической системы на примере автомобиля / Н. А. Никитин, А. В. Кизим, А. В. Матохина; ВолгГТУ. – 2017.

3. 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. Линев, В. А. Минаков; ООО «АРМСофт». – 2008.

4. 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. Линев, А. В. Кизим; ООО «АРМСофт». – 2007.

Приложение В – Алгоритмы и схемы по программным решениям

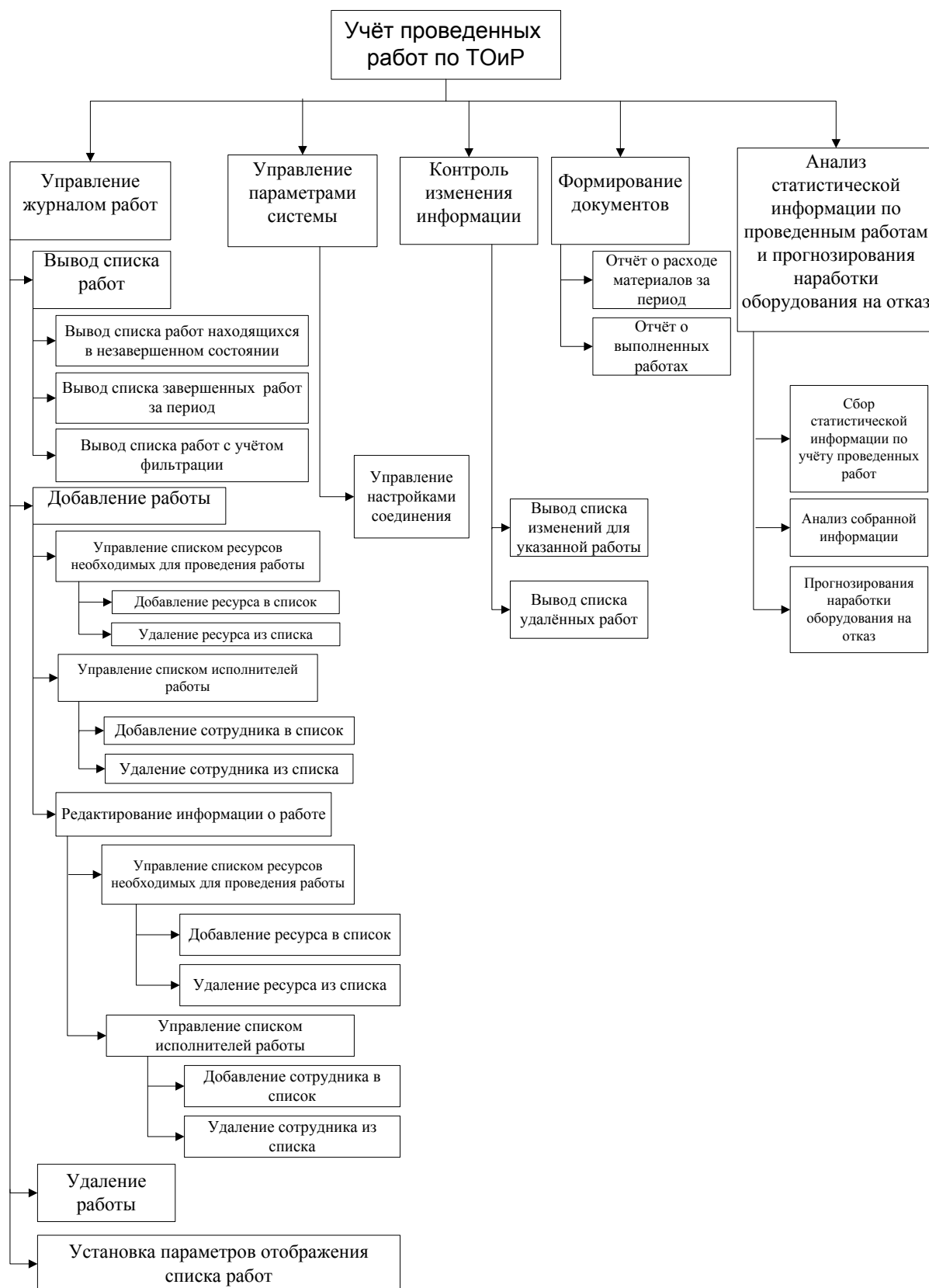


Рисунок В.1 – Иерархия функций

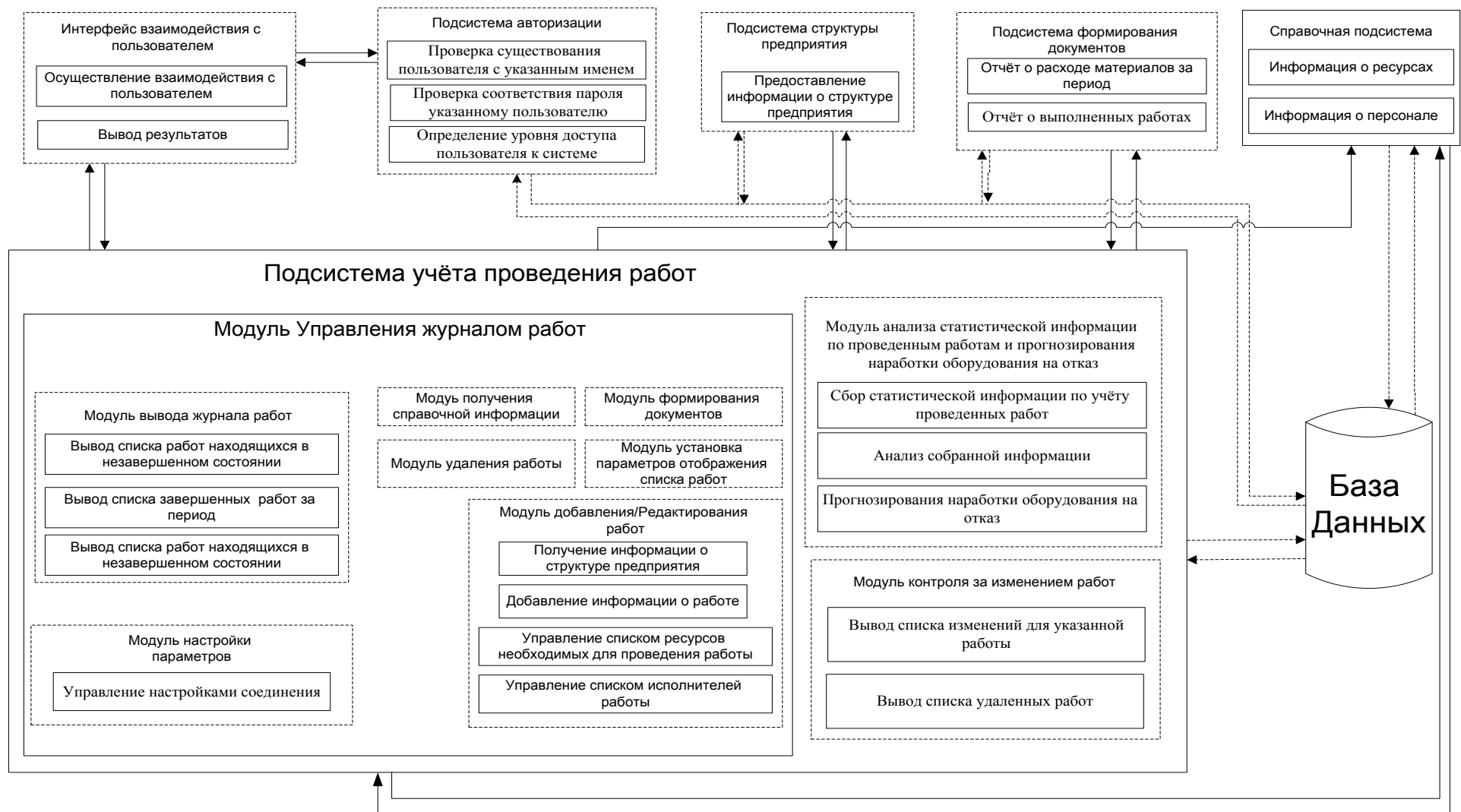


Рисунок В.2 – Программная архитектура системы

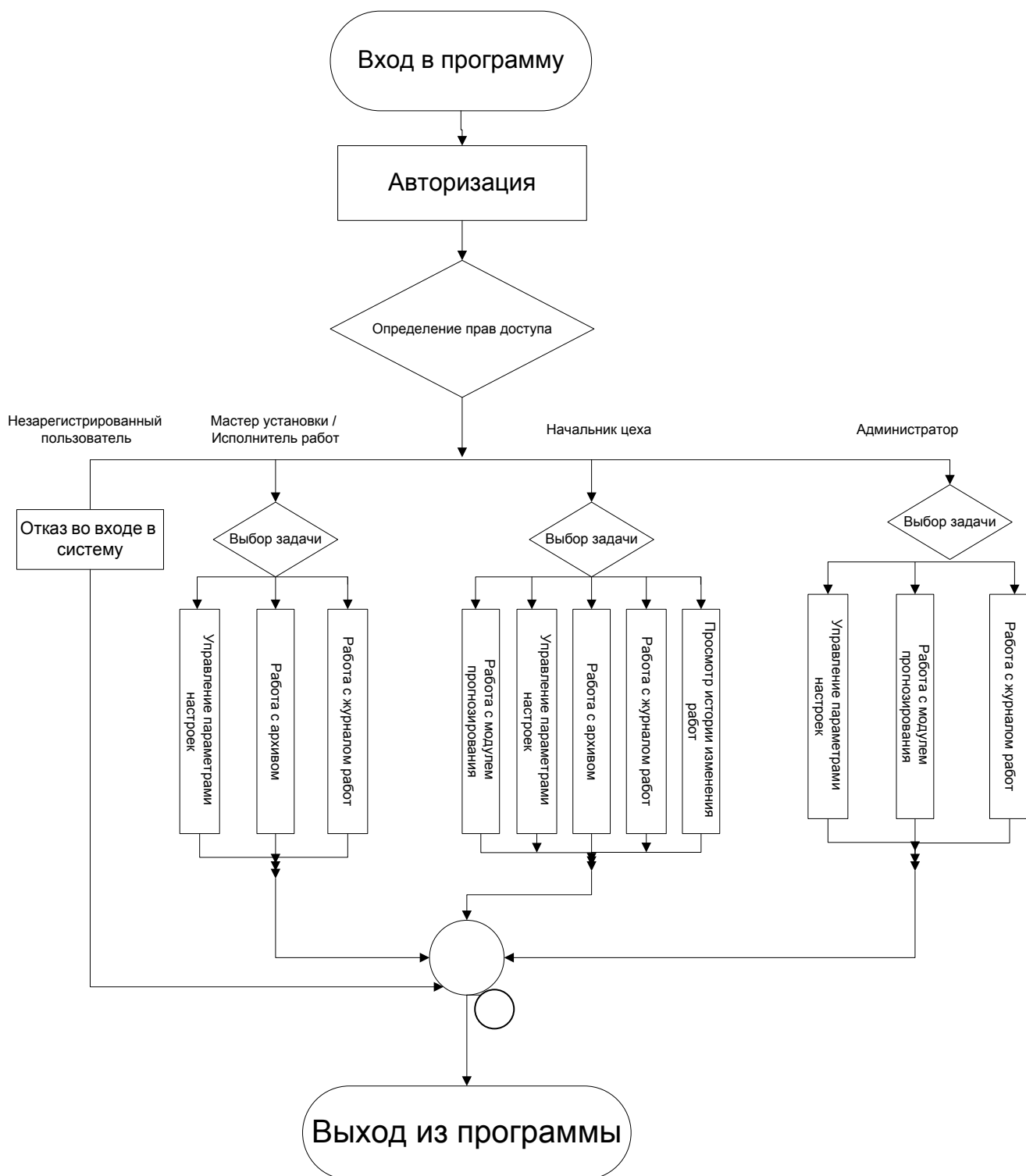


Рисунок В.3 – Логическая схема системы

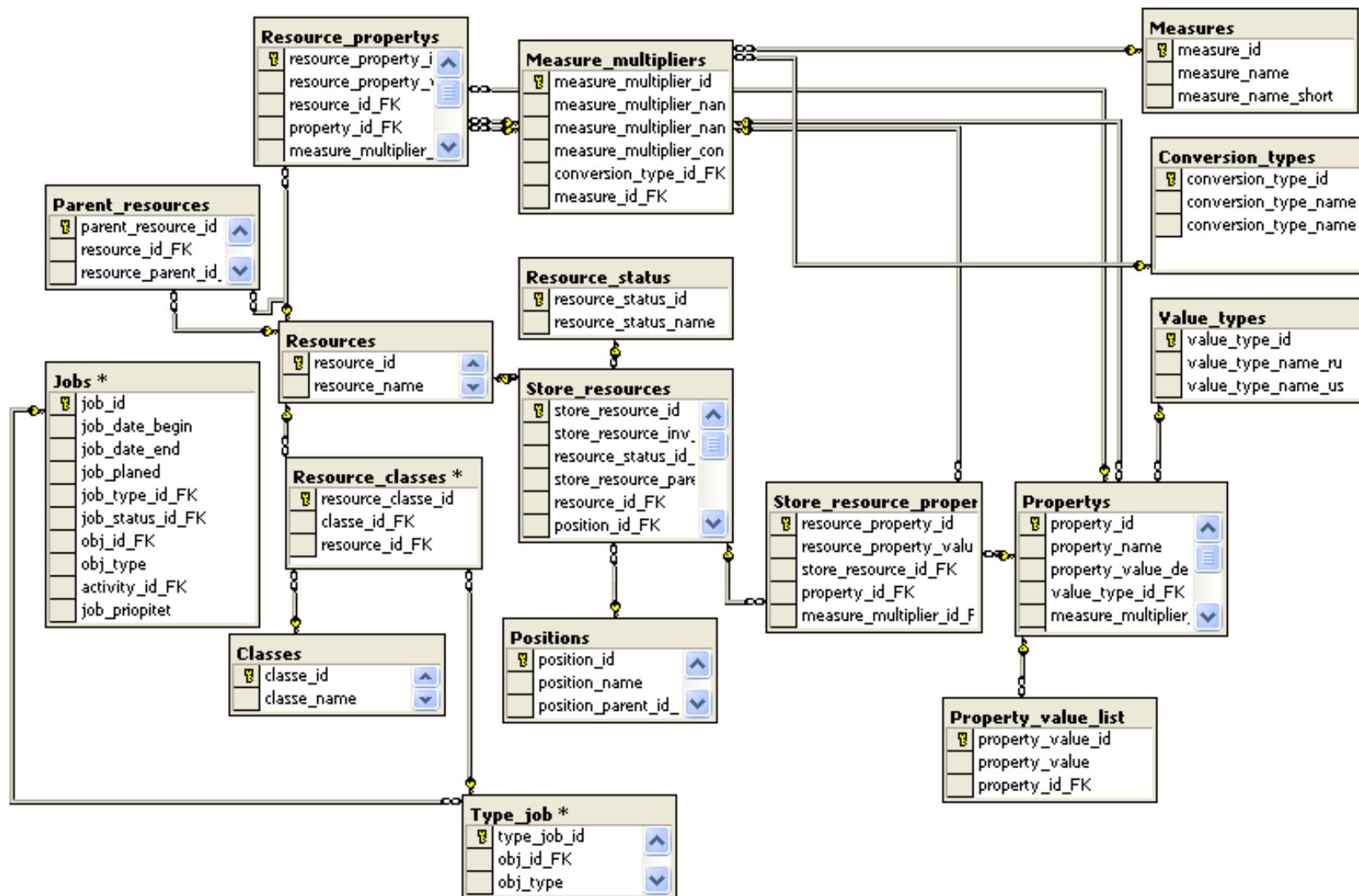


Рисунок В.4 – Структура БД

Приложение Г – Реализация библиотеки методов поддержки принятия решения

Метод функций предпочтения

Данный метод применяется в случае, когда известные численные оценки альтернатив по каждому критерию, а также оценки важности критериев относительно друг друга. Метод является достаточно простым и точным, может использоваться для любого количества альтернатив и критериев.

Суть метода заключается в аддитивной свертке оценок альтернатив с учетом некоторых весовых коэффициентов. В качестве последних здесь выступают так называемые коэффициенты относительной важности критериев, характеризующие оценку важности каждого из критериев в процентах.

Важной особенностью метода является нормирование оценок альтернатив по критериям. Способом нормирования было выбрано деление каждой оценки по одному из критериев на сумму всех оценок по данному критерию. Эта операция выполняется для защиты метода от неоднородности входных данных.

Например, в случае, когда альтернатива А имеет по одному из критериев оценку 1000, а по другому – 5, то при выполнении операции аддитивной свертки при вычислении значения функции предпочтения будет считаться сумма вида:

$K1 \cdot 1000 + K2 \cdot 5$, где $K1$ и $K2$ – коэффициенты относительной важности первого и второго критериев соответственно, их значения принадлежат отрезку от 0 до 1. Так, первое слагаемое будет больше второго, то есть внесет больший вклад значение функции предпочтения, что повлечет за собой ошибки и неточности.

Для нахождения функций предпочтения все полученные оценки «сворачиваются» с учетом взвешивания – для каждой альтернативы вычисляется сумма произведений оценок по каждому критерию на соответствующий вес крите-

рия. Далее альтернативы упорядочиваются по значениям функций предпочтения в порядке убывания. Первая альтернатива в списке считается наиболее оптимальной.

Алгоритм метода в формализованном виде представлен на рис. Г.1.

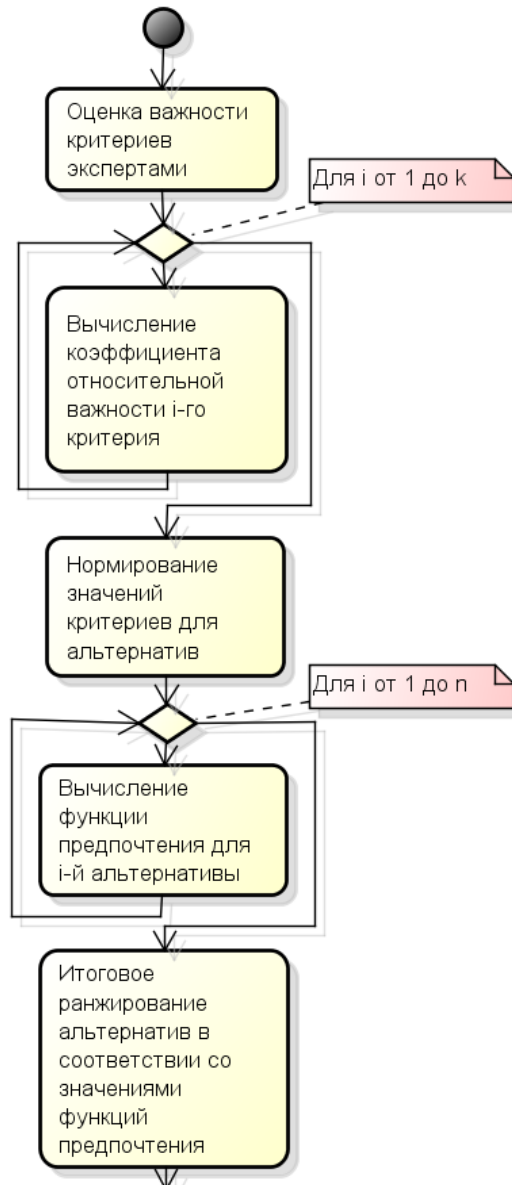


Рисунок Г.1 – Блок-схема алгоритма метода функций предпочтения

Метод средних рангов

Данный метод похож на предыдущий. Он также применяется в условиях определенности для многокритериального выбора из неограниченного количества альтернатив. Однако этот метод применяется в ситуации, когда критерии

равнозначны, то есть нет данных об их относительной важности.

Единственным ограничением метода является то, что оценки внутри каждого критерия должны быть достаточно однородными. При этом неважно, будут ли близки по значению оценки по разным критериям.

Алгоритм метода таков: сначала для каждого критерия производится ранжирование альтернатив, вычисляются ранги (места) каждой альтернативы; затем для каждой альтернативы вычисляется средняя оценка (среднее арифметическое рангов по всем критериям); после чего производится итоговое ранжирование альтернатив по вычисленным средним рангам.

Как видно, данный алгоритм является более простым и быстрым, чем алгоритм метода функций предпочтения, за счет того, что не производится нормирование оценок. Однако его применимость ограничена, как уже было отмечено выше. Но в тех ситуациях, когда его применение оправдано, метод является эффективным и дает достаточно точный результат. Алгоритм данного метода в формализованном виде представлен на рис. Г.2.

Метод анализа иерархии

Данный метод является более сложным и медленным, чем методы, рассмотренные выше. Однако он единственный дает возможность распределять критерии по группам, назначая собственный весовой коэффициент каждой группе, этим формируя иерархию выбора.

Метод применяется в условиях определенности для многокритериального выбора с учетом приоритетов критериев. Его сложность компенсируется высоким уровнем точности и объективности полученных оценок.

Алгоритм метода включает следующую последовательность действий: сначала составляются матрицы парных сравнений для каждого уровня иерархии, то есть для групп относительно целевой вершины, для критериев внутри каждой группы, а также для всех альтернатив по каждому критерию. На следующем шаге вычисляются вектора приоритетов – собственные вектора полученных матриц, каждое значение которых соответствует относительной оценке той или иной

группы, критерия или альтернативы. Затем все вектора нормируются (каждое значение делится на сумму всех значений в векторе), чтобы избежать неоднородности оценок.

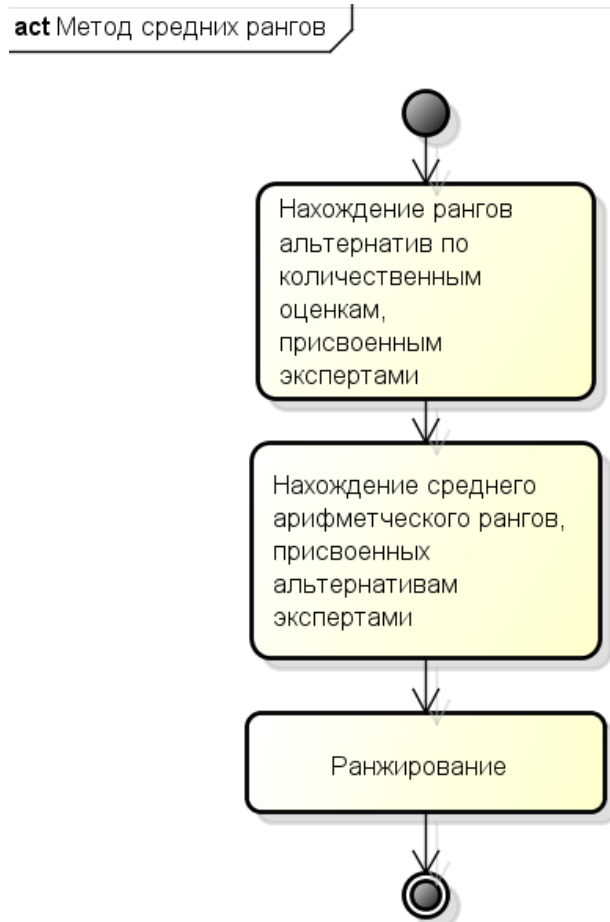


Рисунок Г.2 – Блок-схема алгоритма метода функций предпочтения

Далее происходит агрегация полученных оценок: вектора приоритетов альтернатив по каждому критерию объединяются в одну матрицу, где каждый вектор является столбцом; оценки же групп и критериев внутри групп перемножаются, образуя вектор приоритетов.

Для получения итогового ранжирования альтернатив полученная матрица умножается на вектор приоритетов, и данная операция дает итоговый вектор приоритетов. Упорядочив альтернативы по его значениям, получается итоговое ранжирование альтернатив.

Данный метод, хоть и является достаточно сложным, обеспечивает очень точные оценки, учитывает их неоднородность. К тому же, он единственный из рассмотренных применим для задач, когда критерии поделены на группы, а

каждая группа имеет свою оценку.

Формализованный алгоритм метода представлен на рис. Г.3.

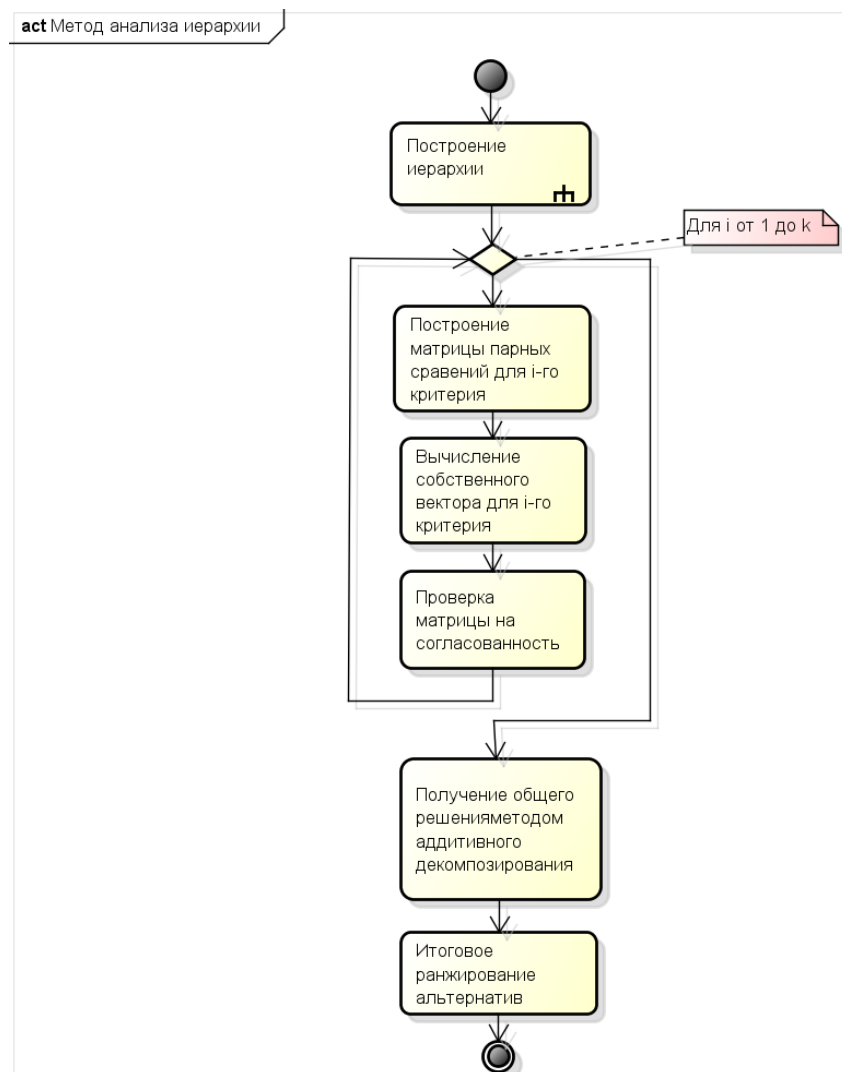


Рисунок Г.3 – Блок-схема алгоритма метода анализа иерархии

Метод оценки по критерию Гурвица

Данный метод существенно отличается от всех методов, рассмотренных выше. Он используется в совершенно других условиях – условиях неопределенности, когда не существует численных оценок альтернатив по критериям, а есть только данные о возможном развитии ситуации в том или ином случае, выраженные в числовом виде.

Такой выбор является однокритериальным, вероятностным. Риск в данном методе носит количественную оценку и может задаваться пользователем.

Например, уровень риска в 100% говорит о том, что нужно выбирать лучший вариант исходя из того, что ситуация сложится максимально неблагоприятно, то есть нужно выбрать лучший вариант из худших. Такой способ оценки риска очень удобен, так как в той или иной ситуации можно заранее отдать предпочтение тому или иному прогнозу – хорошему или плохому, а также сравнить возможные последствия для разных вариантов развития событий.

Алгоритм данного метода включает следующие шаги: сначала для каждой строки матрицы возможных исходов находятся максимальное и минимальное значения (лучший и худший исход, соответственно); затем эти значения складываются с учетом уровня риска: максимум умножается на численную оценку риска, минимум – на ее дополнение до 1.

Итоговое ранжирование получается путем упорядочивания альтернатив по этим значениям.

Алгоритм метода оценки по критерию Гурвица в виде блок-схемы представлен на рис. Г.4.

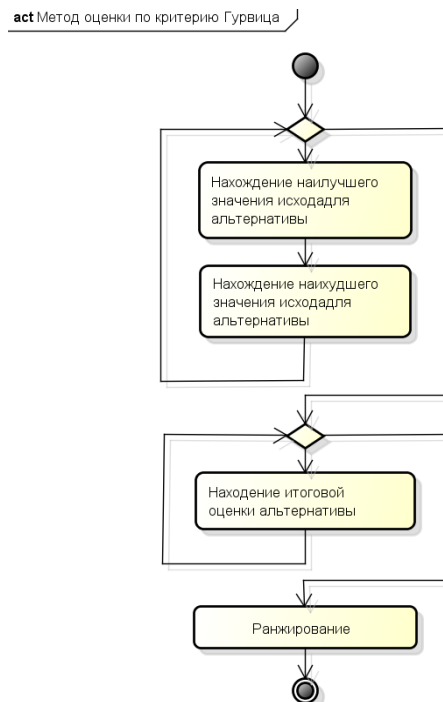


Рисунок Г.4 – Блок-схема алгоритма метода оценки по критерию Гурвица

Данный метод соединяет в себе плюсы и минусы методов максимина и максима, является наиболее точным и объективным.

Лексикографический метод

Метод реализуется на основе установления линейных порядков объектов, для использования которого ЛПР должен предварительно установить приоритеты показателей качества – $k_1, k_2, \dots, k_n$. После этого в цикле осуществляется следующая последовательность действий, пока не будут сравнены все возможные пары альтернатив:

- выбор альтернативы;
- определение критерия с наивысшим приоритетом;
- сравнение значений критериев пар альтернатив;
- перемещение альтернативы с наибольшим значением оценки по критерию в начало очереди

Анализ происходит до тех пор, пока все пары альтернатив не будут подвержены сравнению.

На рис. Г.5 и рис. Г.6 представлен алгоритм данного метода в виде блок-схем.

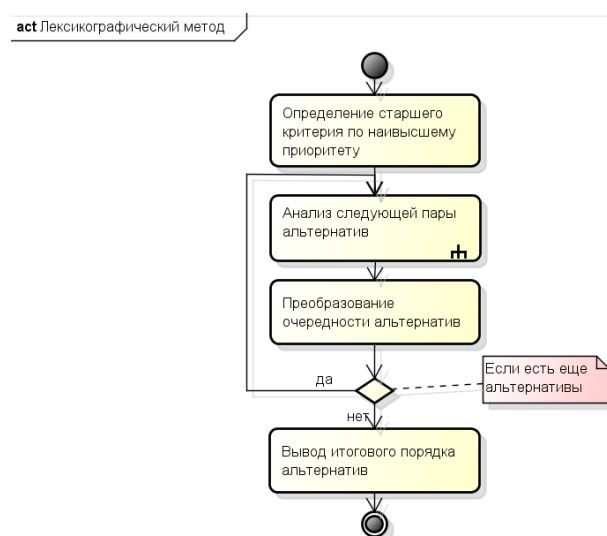


Рисунок Г.5 – Блок-схема алгоритма лексикографического метода

act Анализ следующей пары альтернатив

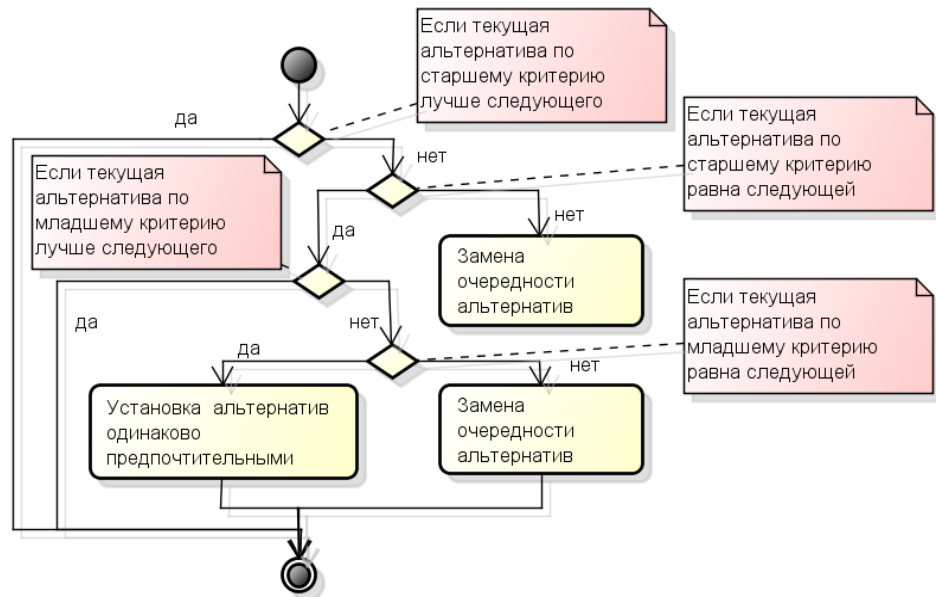


Рисунок Г.6 – Блок-схема действия «Анализ следующей пары альтернатив» алгоритма лексикографического метода

Метод оценки по принципу Парето

Алгоритм метода включает в себя следующую последовательность действий:

- построение матрицы A сравнения альтернатив:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i - \text{я альтернатива строго предпочтительнее альтернативы } j - \text{й;} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

- построение булевой матрицы с элементами a_{ij} . Значения показателей задачи X_i вычитаются из значения соответствующих показателей задачи X_j (в данном случае считается, чем больше показатель, тем «лучше»).

Возможны следующие случаи:

- одно или несколько значений показателей задачи X_i , больше соответствующего значения или соответствующих значений показателей задачи X_j , а остальные значения равны. В этом случае $a_{ij} = 1$;
- одно или несколько значений показателей задачи X_i , меньше

- соответствующих значений показателей задачи X_j . Тогда независимо от значений других показателей $a_{ij}=0$;
- значение всех показателей задачи X_i равно значению соответствующих показателей задачи X_j . И в этом случае $a_{ij} = 0$.
 - для того, чтобы определить группу задач ранга 1, надо найти столбцы, в которых стоят только нули. Вычеркиваем из матрицы эти столбцы и соответствующие им строки. Получается новая матрица. Вновь находятся столбцы, содержащие только нули. Эти задачи получают второй ранг и т.д.

Блок-схема алгоритма представлена на рис. Г.7 и рис. Г.8.

Метод функций полезности Неймана-Монгерштерна

Алгоритм метод функций полезности Неймана-Монгерштерна состоит из действий (блок-схема алгоритма представлена на рис. Г.9):

- для каждой альтернативы находится оценка в виде суммы произведений вероятности исхода на результат исхода;
- ранжирование альтернатив (по убыванию оценки).

Метод оценки по критерию Лапласа

Алгоритм метода оценки по критерию Лапласа состоит из следующей последовательности шагов (блок-схема алгоритма представлена на рис. Г.10.):

- нахождение математического ожидания положительных исходов для каждой альтернативы. Математическое ожидание для каждой альтернативы равно сумме оценок альтернатив по критериям, деленной на количество критериев;
- ранжирование альтернатив (от наибольшего к наименьшему математическому ожиданию).

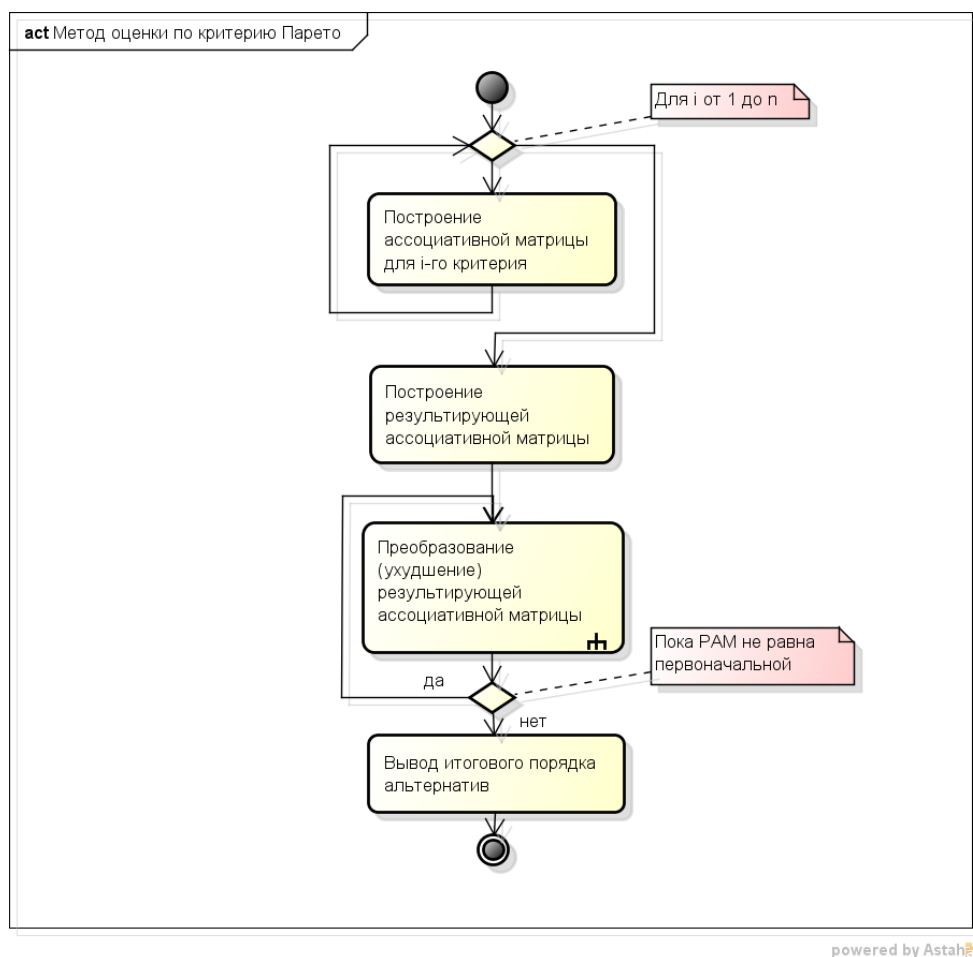


Рисунок Г.7 – Блок-схема алгоритма метода оценки по принципу Парето

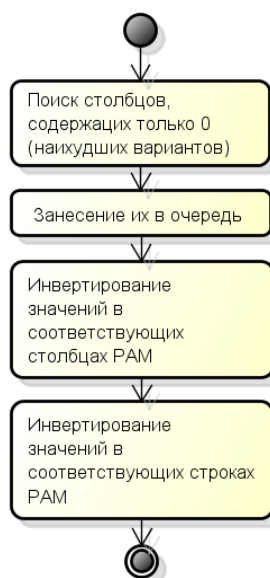


Рисунок Г.8 – Блок-схема действия «Преобразование результирующей ассоциативной матрицы» алгоритма метода оценки по принципу Парето

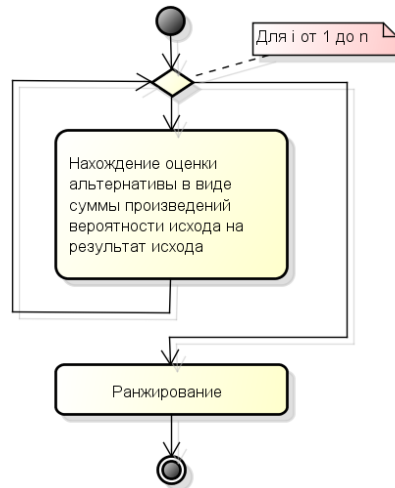


Рисунок Г.9 – Блок-схема алгоритма метода по Нейману-Монгерштерну

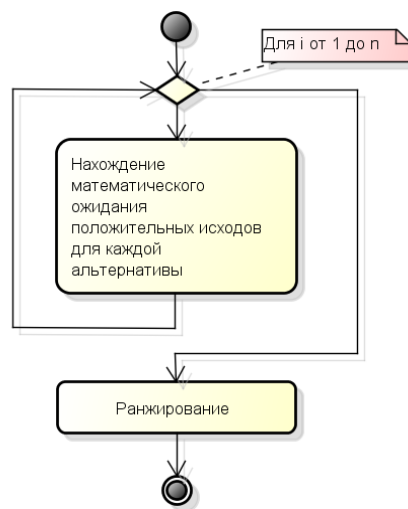


Рисунок Г.10 – Блок-схема алгоритма метода оценки по Лапласу

Программная реализация библиотеки методов

Далее будут рассмотрены наиболее важные особенности программной реализации библиотеки методов: характеристика входных и выходных параметров методов, позволяющих сделать библиотеку универсальной; программный код методов, реализующих алгоритмы принятия решений, а также вспомогательных функций.

Также далее будут приведены примеры решения задач принятия решения вручную с последующей проверкой средствами реализованной библиотеки.

Исходя из требований максимальной переносимости и возможности исполнения распределенными программными агентами, языком программной ре-

ализации методов был выбран язык высокого уровня Java, так как именно на нем реализовывается модуль поддержки принятия решения.

Для реализации был выбран язык программирования Java и среда разработки IntelliJ IDEA.

Был реализован вспомогательный метод `Sorting`, который получает на вход массив чисел в формате `float` и возвращает массив индексов элементов входного массива, упорядоченных по убыванию. Программный код реализованных методов принятия решения представлен ниже.

Описание входных и выходных параметров методов

Так как изначально предполагалось, что система будет обладать высоким уровнем универсальности, было решено сделать все входные и выходные параметры общими для всех методов библиотеки.

Так, входные данные для каждого метода библиотеки имеют одинаковый формат и содержат следующие параметры:

- класс `Criterion`, характеризующий критерий в методах для задач в условиях определенности. Данная структура содержит следующие поля:
 - `float Importance` – экспертная оценка важности данного критерия;
 - `float Grades []` – массив оценок альтернатив по данному критерию;
- класс `Situation`, характеризующий возможную ситуацию в методах для условий риска и неопределенности. Данная структура содержит следующие поля:
 - `float Probability` – экспертная оценка вероятности наступления данной ситуации;
 - `float Prognoses []` – массив оценок последствий применения альтернатив при наступлении данной ситуации;
- класс `Group`, характеризующий группу критериев в методах для условий определенности, а именно в методе анализа иерархии. Структура содержит поля:

- float Importance – экспертная оценка важности данной группы критериев;
- int Criteria [] – массив критериев, входящих в данную группу;
- float Risk – оценка требуемого риска для методов в условиях неопределенности, а именно метода оценки по критерию Гурвица.

В целях уменьшения количества передаваемых данных в силу схожести классов Criterion и Situation они объединены в один, данные в котором для каждого из методов имеют значение либо одной структуры, либо другой. Например, первое поле структуры в зависимости от вызываемого метода может характеризовать как оценку критерия, так и вероятность возникновения той или иной ситуации.

На параметр Risk существует ограничение – это число в диапазоне от 0 до 1 включительно.

Следует отметить, что не для всех методов используются все входные данные. Неиспользуемые параметры перед передачей в метод должны иметь значение по умолчанию. При вызове метода считывание происходит только из тех полей, которые используются в ходе поиска оптимального решения, остальные поля не затрагиваются.

Для всех методов библиотеки выходные данные следующие:

- int Alternatives [] – массив номеров альтернатив после ранжирования.

Данный массив содержит упорядоченный по уровню предпочтений набор чисел от 1 до n (n – количество альтернатив), полученный в результате ранжирования исходного набора с помощью вызванного библиотечного метода.

Такая стратегия позволяет добиться схожих прототипов библиотечных функций, что удобно при подключении файла как сторонней библиотеки.

Описанные структуры в виде программного кода на языке Java:

```
class Criterion {    public float Importance;  public float Grades []; }
class Group {    public float Importance;    public int Criteria []; }
```

Описание спецификаций функций

На основе всех вышеизложенных сведений была составлена структура файла библиотеки. Этот файл включает в себя ряд функций, часть которых реализует выбранные алгоритмы принятия решения, другая часть – вспомогательные функции. Таблица спецификаций данных функций представлена в т. Г.1.

Таблица Г.1 – Спецификации библиотечных методов

Имя	Назначение	Параметры
Pareto	Ранжирование альтернатив по методу Парето	C – массив экземпляров структуры Criterion G – массив экземпляров структуры Group risk – вещественное число
LexGraph	Ранжирование альтернатив по лексикографическому методу	
UtilityFunc	Ранжирование альтернатив с использованием функций предпочтения	
Hierarchy	Ранжирование альтернатив с помощью анализа иерархии	
AverageGrade	Ранжирование альтернатив с помощью метода средних рангов	
NeymanMonger	Ранжирование альтернатив с помощью функций полезности Неймана-Монгерштерна	
Laplas	Ранжирование альтернатив с помощью критерия Лапласа	
Gurvic	Ранжирование альтернатив с помощью критерия Гурвица	
Sorting	Сортировка массива альтернатив	float Mass – массив оценок альтернатив, полученный с помощью того или иного метода

Имя	Назначение	Параметры
GetGrade	Получение ранга альтернативы внутри одного критерия	float Mass – массив оценок альтернатив по одному из критериев

Последние два метода являются вспомогательными и могут быть вызваны из других библиотечных функций. Каким образом осуществляется вызов, представлено на рис. Г.11.

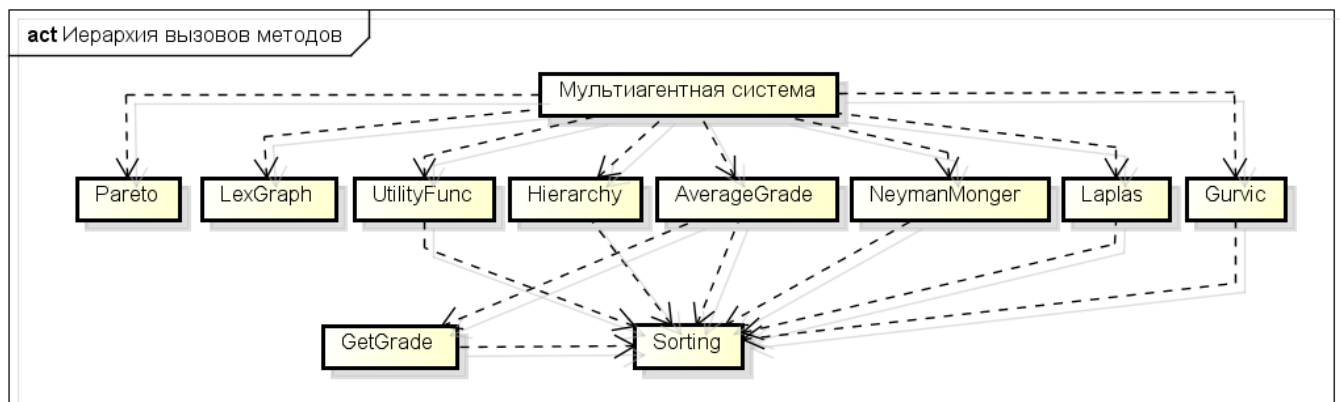


Рисунок Г.11 – Иерархия вызовов библиотечных методов

Все рассмотренные выше функции были реализованы программно на выбранном языке программирования Java в среде IntelliJ IDEA. Программный код вспомогательных и основных библиотечных методов представлен ниже.

Описание тестовых примеров

Рассмотрим решение тестовых задач принятия решения для каждого из рассмотренных выше методов. Сначала рассмотрим подробное решение с помощью некоторых методов вручную, затем – несколько тестовых примеров, тестирующих работу программы с последующей проверкой.

Первый тестовый пример рассмотрим для метода функций предпочтения. Пусть даны следующие исходные данные:

Таблица Г2. – Исходные данные

Критерии	Альтернативы						Эксперт- ная оценка
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	
C1	900	1200	890	1000	1050	1225	5
C2	16	32	18	20	44	40	1
C3	25	30	36	25	32	45	9
C4	10	15	12	12	18	12	4
C5	18	20	20	19	21	20	3

Первым шагом алгоритма является вычисление коэффициентов относительной важности критериев

Таблица Г3. – Коэффициентов относительной важности критериев

Критерий	Коэффициент относительной важности
C1	$5/22 = 0.227$
C2	$1/22 = 0.045$
C3	$9/22 = 0.409$
C4	$4/22 = 0.182$
C5	$3/22 = 0.136$

Далее следует произвести нормирование значений критериев для альтернатив:

Таблица Г4. – Значения критериев для альтернатив

Критерии	Альтернативы					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
C1	0,875	0,125	0,9	0,625	0,5	0,0625
C2	0,033	0,567	0,1	0,167	0,967	0,833
C3	0,13	0,523	0,609	0,13	0,435	1
C4	0	0,5	0,2	0,2	0,8	0,2
C5	0	0,5	0,5	0,25	0,75	0,5

После чего можно производить вычисление функций предпочтения для каждой альтернативы:

Таблица Г5. – Вычисление функций предпочтения для каждой альтернативы

Альтернатива	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Значение F	0.254	0.428	0.563	0.273	0.583	0.566

Итоговый порядок альтернатив имеет вид: 5, 6, 3, 2, 4, 1. То есть лучшая альтернатива – это альтернатива под номером 5.

Следующим примером будет решение задачи принятия решения с помощью метода анализа иерархии.

Таблица Г6. – Исходные данные

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7
A1	1	2	3	2	8	5	8
A2	120	7	5	6	7	4	5
A3	110	9	9	9	9	7	7
A4	90	7	7	9	9	9	9
Оценка	3	6	8	9	9	9	9

Тогда матрица парных сравнений критериев имеет вид:

Таблица Г7. – Матрица парных сравнений критериев

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	W _F
Q1	1	3/6	3/8	3/9	3/9	3/9	3/9	0.056
Q2	6/3	1	6/8	6/9	6/9	6/9	6/9	0.113
Q3	8/3	8/6	1	8/9	8/9	8/9	8/9	0.151
Q4	9/3	9/6	9/8	1	9/9	9/9	9/9	0.170
Q5	9/3	9/6	9/8	9/9	1	9/9	9/9	0.170
Q6	9/3	9/6	9/8	9/9	9/9	1	9/9	0.170
Q7	9/3	9/6	9/8	9/9	9/9	9/9	1	0.170

Матрицы парных сравнений альтернатив внутри критериев:

Таблица Г8. – Матрицы парных сравнений альтернатив внутри критериев

Q1	A1	A2	A3	A4
A1	1	120/1	110/1	90/1
A2	1/120	1	110/120	90/120
A3	1/110	120/110	1	90/110
A4	1/90	120/90	110/90	1

Q1	A1	A2	A3	A4	W _{C1}
A1	1.00	120.00	110.00	90.00	0.972
A2	0.01	1.00	0.92	0.75	0.008
A3	0.01	1.09	1.00	0.82	0.009
A4	0.01	1.33	1.22	1.00	0.011

Q2	A1	A2	A3	A4
A1	1	2/7	2/9	2/7
A2	7/2	1	7/9	7/7
A3	9/2	9/7	1	9/7
A4	7/2	7/7	7/9	1

Q2	A1	A2	A3	A4	W _{C2}
A1	1.00	0.29	0.22	0.29	0.080
A2	3.50	1.00	0.78	1.00	0.280
A3	4.50	1.29	1.00	1.29	0.360
A4	3.50	1.00	0.78	1.00	0.280

Q3	A1	A2	A3	A4
A1	1	3/5	3/9	3/7
A2	5/3	1	5/9	5/7
A3	9/3	9/5	1	9/7
A4	7/3	7/5	7/9	1

Q3	A1	A2	A3	A4	W _{C3}
A1	1.00	0.60	0.33	0.43	0.125
A2	1.67	1.00	0.56	0.71	0.208
A3	3.00	1.80	1.00	1.29	0.375
A4	2.33	1.40	0.78	1.00	0.292

Q4	A1	A2	A3	A4
A1	1	2/6	2/9	2/9
A2	6/2	1	6/9	6/9
A3	9/2	9/6	1	9/9
A4	9/2	9/6	9/9	1

Q4	A1	A2	A3	A4	W _{C4}
A1	1.00	0.33	0.22	0.22	0.077
A2	3.00	1.00	0.67	0.67	0.231
A3	4.50	1.50	1.00	1.00	0.346
A4	4.50	1.50	1.00	1.00	0.346

Q5	A1	A2	A3	A4
A1	1	8/7	8/9	8/9
A2	7/8	1	7/9	7/9
A3	9/8	9/7	1	9/9
A4	9/8	9/7	9/9	1

Q5	A1	A2	A3	A4	W _{C5}
A1	1.00	1.14	0.89	0.89	0.242
A2	0.88	1.00	0.78	0.78	0.212
A3	1.13	1.29	1.00	1.00	0.273
A4	1.13	1.29	1.00	1.00	0.273

Q6	A1	A2	A3	A4
A1	1	5/4	5/7	5/9
A2	4/5	1	4/7	4/9
A3	7/5	7/4	1	7/9
A4	9/5	9/4	9/7	1

Q6	A1	A2	A3	A4	W _{C6}
A1	1.00	1.25	0.71	0.56	0.200
A2	0.80	1.00	0.57	0.44	0.160
A3	1.40	1.75	1.00	0.78	0.280
A4	1.80	2.25	1.29	1.00	0.360

Q7	A1	A2	A3	A4
A1	1	8/5	8/7	8/9

Q7	A1	A2	A3	A4	W _{C7}
A1	1.00	1.60	1.14	0.89	0.275

A2	5/8	1	5/7	5/9
A3	7/8	7/5	1	7/9
A4	9/8	9/5	9/7	1

A2	0.63	1.00	0.71	0.56	0.173
A3	0.88	1.40	1.00	0.78	0.242
A4	1.13	1.80	1.29	1.00	0.310

Матрица, полученная путем аддитивного декомпозирования:

Таблица Г8. – Матрица, полученная путем аддитивного декомпозирования

	W _{C1}	W _{C2}	W _{C3}	W _{C4}	W _{C5}	W _{C6}	W _{C7}
A1	0.972	0.080	0.125	0.077	0.242	0.200	0.275
A2	0.008	0.280	0.208	0.231	0.212	0.160	0.173
A3	0.009	0.360	0.375	0.346	0.273	0.280	0.242
A4	0.011	0.280	0.292	0.346	0.273	0.360	0.310

Результат умножения матрицы на вектор приоритетов критериев:

Таблица Г9. – Результат умножения матрицы на вектор приоритетов критериев

A1	A2	A3	A4
0.217327	0.195416	0.291779	0.295478

Тогда итоговое ранжирование альтернатив имеет следующий вид: 4, 3, 1, 2. Следовательно, наилучшей альтернативой является альтернатива под номером 4.

Оставшиеся два метода – средних рангов и оценки по критерию Гурвица, - являются более простыми и не требуют сложных вычислений, поэтому примеры по ним будут рассмотрены далее в краткой форме.

Помимо тестирования алгоритмов методов по формализованным блок-схемам, было произведено тестирование программно реализованных библиотечных методов. Сначала тестированию подверглись вспомогательные методы – метод сортировки и метод получения рангов альтернатив. Метод Sorting был проверен на следующих наборах входных данных:

- входной массив: {-11.5, 2.2, 10, -15.3, -22}

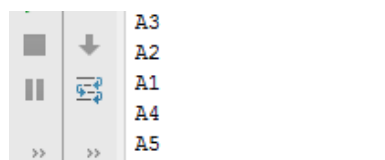


Рисунок Г.12 – Результат работы метода

- входной массив: {15,10,3,1,21,33,123,2,-1,-111}

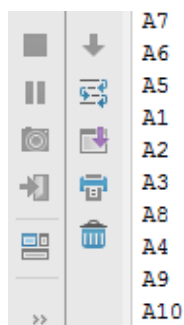


Рисунок Г.13 – Результат работы метода

Далее был протестирован метод получения рангов альтернатив GetGrade:

- входной массив: {-11.5,2.2,10,-15.3,-22}

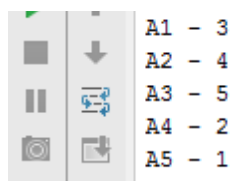


Рисунок Г.14 – Результат работы метода

- входной массив: {15,10,3,1,21,33,123,2,-1,-111}

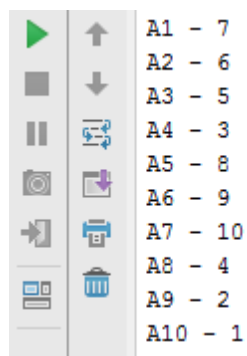


Рисунок Г.15– Результат работы метода

По результатам видно, что данные методы работают правильно. После этого был протестирован с последующей проверкой вручную метод AverageGrade, реализующий алгоритм средних рангов.

Таблица Г.14 – Входные данные

Альтернатива	1-й критерий
A1	73
A2	80
A3	75
A4	74
A5	77
A6	79
A7	72
A8	75
Важность критериев:	1.0

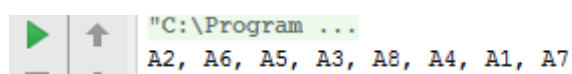


Рисунок Г.16 – Результат работы метода

Таблица Г.15 – Проверка работы программы вручную:

Альтернативы	Ранги по C1	Средние ранги
A1	2	$2 \cdot 1.0 / 1 = 2.0$
A2	8	$8 \cdot 1.0 / 1 = 8.0$
A3	5	$5 \cdot 1.0 / 1 = 5.0$
A4	3	$3 \cdot 1.0 / 1 = 3.0$
A5	6	$6 \cdot 1.0 / 1 = 6.0$
A6	7	$7 \cdot 1.0 / 1 = 7.0$
A7	1	$1 \cdot 1.0 / 1 = 1.0$
A8	4	$4 \cdot 1.0 / 1 = 4.0$

Итоговое ранжирование имеет следующий вид: A2, A6, A5, A3, A8, A4, A1, A7 и совпадает с программно полученными результатами.

Таблица Г.16 – Проверка работы программы вручную

Альтернатива	1-й критерий	2-й критерий	3-й критерий
A1	73	15	55
A2	80	10	56
A3	75	12	50
A4	74	13	59
A5	77	17	51
Важность критериев:	0.3	0.2	0.5

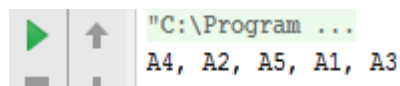


Рисунок Г.17 – Результат работы метода

Таблица Г.17 – Проверка

Альтернативы	Ранги по C1	Ранги по C2	Ранги по C3	Средние ранги
A1	1	4	3	$(1*0.2+4*0.3+3*0.5)/3=1.0$
A2	5	1	4	$(5*0.2+1*0.3+4*0.5)/3=1.1$
A3	3	2	1	$(3*0.2+2*0.3+1*0.5)/3=0.6$
A4	2	3	5	$(2*0.2+3*0.3+5*0.5)/3=1.3$
A5	4	5	2	$(4*0.2+5*0.3+2*0.5)/3=1.1$

Итоговое ранжирование имеет вид: A4, A2, A5, A1, A3 и соответствует полученному программным путем.

Данные примеры охватывают различные возможные ситуации, и можно сделать вывод, что метод работает правильно.

Тестирование метода оценки по критерию Гурвица проводилось на следующих тестовых примерах:

Таблица Г.19 – Входные данные

Альтернатива	1-я ситуация	2-я ситуация	3-я ситуация
A1	18	15	17
A2	11	10	19
A3	20	12	10
A4	16	13	13
A5	12	17	14
Оценка уровня риска:		0.0	

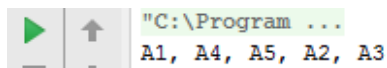


Рисунок Г.18 – Результат работы метода

Проверка: при оценке риска в 0% ищется самое пессимистичное решение по правилу максимина. В этом случае сортируется по убыванию массив наихудших исходов для каждой альтернативы: 15, 10, 10, 13, 12.

Итоговое ранжирование имеет вид: A1, A4, A5, A2, A3 и совпадает с результатом выполнения программы.

Таблица Г.20 – Входные данные

Альтернатива	1-я ситуация	2-я ситуация	3-я ситуация
A1	18	15	17
A2	11	10	19
A3	20	12	10
A4	16	13	13
A5	12	17	14
Оценка уровня риска:		1.0	

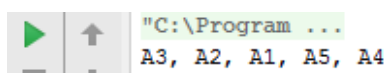


Рисунок Г.19– Результат работы метода

Проверка: при оценке риска в 100% ищется самое оптимистичное решение по правилу максимакса. В этом случае сортируется по убыванию массив наилучших исходов для каждой альтернативы: 18, 19, 20, 16, 17.

Итоговое ранжирование в данном случае имеет вид: A3, A2, A1, A5, A4 и совпадает с программным вариантом.

Таблица Г.21 – Входные данные

Альтернатива	1-я ситуация	2-я ситуация	3-я ситуация
A1	18	15	17
A2	11	10	19
A3	20	12	10
A4	16	13	13

Альтернатива	1-я ситуация	2-я ситуация	3-я ситуация
A5	12	17	14
Оценка уровня риска:		0.5	

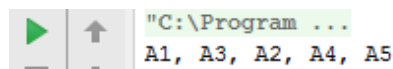


Рисунок Г.20 – Результат работы метода

Проверка: массив оценок по критерию Гурвица: $(18+15)*0.5$, $(19+10)*0.5$, $(20+10)*0.5$, $(16+13)*0.5$, $(17+12)*0.5$ или 16.5, 14.5, 15, 14.5, 14.5.

Итоговое ранжирование тогда имеет вид: A1, A3, A2, A4, A5 и совпадает с программным результатом.

Таблица Г.22 – Входные данные

Альтернатива	1-я ситуация	2-я ситуация
A1	54	51
A2	53	57
A3	50	60
A4	51	58
A5	52	51
A6	55	56
A7	59	59
Оценка уровня риска:		0.3

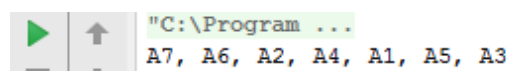


Рисунок Г.21 – Результат работы метода

Проверка: массив оценок по критерию Гурвица:

$54*0.3+51*0.7$, $57*0.3+53*0.7$, $60*0.3+50*0.7$, $58*0.3+51*0.7$,
 $52*0.3+51*0.7$, $56*0.3+55*0.7$, $59*0.3+59*0.7$ или 51.9, 54.2, 50.0, 53.1, 51.3, 55.3,
 59.0.

Итоговое ранжирование имеет вид:

A7, A6, A2, A4, A1, A5, A3 и совпадает с результатом работы метода.

Из этих тестовых примеров также видно, что метод оценки по критерию Гурвица работает правильно.

Тестирование лексикографического метода:

Для тестирования реализованного метода сначала составим и решим пример вручную, затем сравним ответ с результатом, полученным программой. Исходные данные тестового примера приведены в табл. Г.23.

Таблица Г.23 – Исходные данные тестового примера для лексикографического метода

	A1	A2	A3	A4	A5
Q1	5	8	6	8	6
Q2	3	4	3	4	5

Критерий Q1 приоритетнее, чем Q2. Начальный порядок альтернатив: A1, A2, A3, A4, A5.

Процесс получения решения примера лексикографическим методом представлен в табл. 4, где «1-я альтернатива» и «2-я альтернатива» - взятые для сравнения альтернативы, «Проверка 1» и «Проверка 2» - проверки по первому и второму критериям соответственно (сравнение 1-й альтернативы – больше, меньше либо равна она 2-й сравниваемой альтернативе), «Действие» - операция, производимая с альтернативами после сравнения (меняем/не меняем местами), «Порядок» - порядок альтернатив после каждой операции. Если первая проверка не показала «равно», то вторая проверка не происходит.

Таблица Г.24 – Решение тестового примера лексикографическим методом

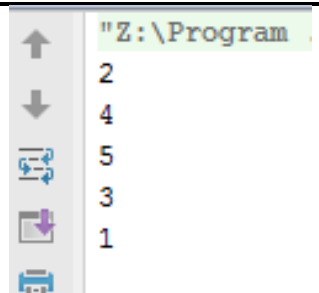
1-я альтернатива	2-я альтернатива	Проверка 1	Проверка 2	Действие	Порядок
1	2	меньше	-	меняем	12345
1	3	меньше	-	меняем	21345
1	4	меньше	-	меняем	23145
1	5	меньше	-	меняем	23415
2	3	больше	-	не меняем	23451
2	4	равно	равно	не меняем	23451
2	5	больше	-	не меняем	23451
3	4	меньше	-	меняем	24351
3	5	равно	меньше	меняем	24531
4	5	больше	-	не меняем	24531

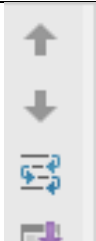
Результат: 2, 4, 5, 3, 1.

Для проверки работоспособности программы, протестируем ее на решенном ранее вручную примере, а также на нескольких других. В табл. Г.25 представлены входные и выходные данные при тестировании метода.

Ответ, полученный программой в примере №1 сходится с ответом, полученным в ходе решения этого примера вручную.

Таблица Г.25 – Тестирование реализованного лексикографического метода

Тестовый пример	Входные данные	Выходные данные
№1	Первый критерий: Importance = 2 Grades = {5,8,6,8,6} Второй критерий: Importance = 1 Grades = {3,4,3,4,5}	

№2. Все оценки одинаковы и равны 0	Первый критерий: Importance = 2 Grades = {0,0,0,0} Второй критерий: Importance = 1 Grades = {0,0,0,0}	 "Z:\Progr 1 2 3 4
№3. Отрицательные оценки	Первый критерий: Importance = 1 Grades = {1,2,3,4,5} Второй критерий: Importance = 2 Grades = { -5,-4,-3,-2,-1}	 "Z:\Prog 5 4 3 2 1

Тестирование метода оценки по принципу Парето.

Исходные данные тестового примера представлены в табл. Г.26.

Таблица Г.26 – Исходные данные тестового примера для метода Парето

	A1	A2	A3	A4	A5
Q1	5	8	6	7	9
Q2	3	4	3	4	5

Составленные ассоциативные матрицы для критериев Q1 и Q2 представлены в табл. Г.27.

Таблица Г.27 – Ассоциативные матрицы для критериев Q1 и Q2

Q1	A1	A2	A3	A4	A5
A1	0	0	0	0	0
A2	1	0	1	1	0
A3	1	0	0	0	0
A4	1	0	1	0	0

A5	1	1	1	1	0
----	---	---	---	---	---

Q2	A1	A2	A3	A4	A5
A1	0	0	0	0	0
A2	1	0	1	0	0
A3	0	0	0	0	0
A4	1	0	1	0	0
A5	1	1	1	1	0

Дальнейшее решение тестового примера методом оценки по принципу Парето представлено в табл. Г.28.

Таблица Г.28 – Решение тестового примера методом Парето

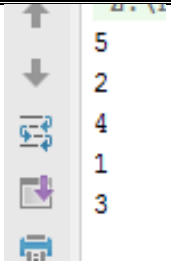
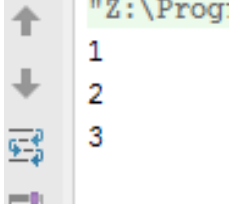
Результирующая ассоциативная матрица (РАМ)						Комментарий
РАМ(0)	A1	A2	A3	A4	A5	А5 добавляем в очередь
A1	0	0	0	0	0	
A2	1	0	1	0	0	
A3	0	0	0	0	0	
A4	1	0	1	0	0	
A5	1	1	1	1	0	
РАМ(1)	A1	A2	A3	A4	A5	А2 и А4 добавляем в очередь
A1	0	0	0	0	1	
A2	1	0	1	0	1	
A3	0	0	0	0	1	
A4	1	0	1	0	1	
A5	0	0	0	0	0	
РАМ(2)	A1	A2	A3	A4	A5	А1 и А3 добавляем в очередь
A1	0	1	0	1	1	

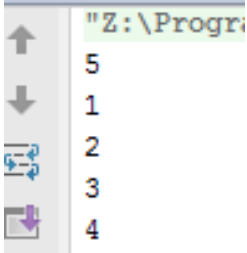
Результирующая ассоциативная матрица (РАМ)							Комментарий
A2	0	0	0	0	0		
A3	0	1	0	1	1		
A4	0	0	0	0	0		
A5	0	1	0	1	0		
РАМ(3)	A1	A2	A3	A4	A5	Матрица РАМ(3) равна исходной матрице РАМ, следовательно, вычисление закончено.	
A1	0	0	0	0	0		
A2	1	0	1	0	0		
A3	0	0	0	0	0		
A4	1	0	1	0	0		
A5	1	1	1	1	0		

Результат: 5, 2, 4, 1, 3.

Теперь протестируем реализованный метод. Результаты тестирования показаны в табл. Г.29. Как видно, ответ, полученный на выходе метода для примера №1 такой же, как при решении этого примера вручную.

Таблица Г.29 – Тестирование реализованного метода Парето

Тестовый пример	Входные данные	Выходные данные
№1	Первый критерий: Grades = {5,8,6,7,9} Второй критерий: Grades = {3,4,3,4,5}	
№2. Отрицательные оценки; три критерия	Первый критерий: Grades = {8,-4,5} Второй критерий: Grades = {9,-4,7} Третий критерий:	

Тестовый пример	Входные данные	Выходные данные
	Grades = {1,5,1}	
№3	Первый критерий: Grades = {0,0,0,0,1} Второй критерий: Grades = {0,0,0,0,1} Третий критерий: Grades = {0,0,0,0,1}	

Тестирование метода функций полезности Неймана-Монгерштерна. Решим вручную тестовый пример, исходные данные представлены в табл. Г.30.

Таблица Г.30 – Исходные данные тестового примера для метода Неймана-Монгерштерна

	A1	A2	A3	A4	Вероятность наступления
Q1	3	5	1	8	0.2
Q2	4	4	3	6	0.5
Q3	7	1	6	3	0.1

Решение представим в виде таблицы (табл. Г.31).

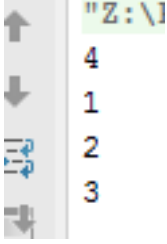
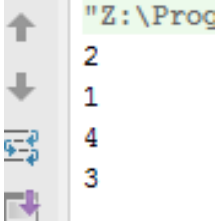
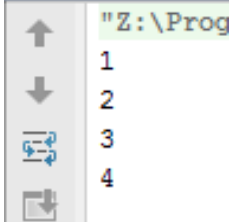
Таблица Г.31 – Решение тестового примера методом Неймана-Монгерштерна

Альтернатива	Оценка	Ранг
A1	$3*0.2 + 4*0.5 + 7*0.1 = 3.3$	2
A2	$5*0.2 + 4*0.5 + 1*0.1 = 3.1$	3
A3	$1*0.2 + 3*0.5 + 6*0.1 = 2.3$	4
A4	$8*0.2 + 6*0.5 + 3*0.1 = 4.9$	1

Результат: 4, 1, 2, 3.

Далее протестируем реализованный метод. Результаты тестирования представлены в табл. Г.32. Ответ примера №1, полученный программой, такой же, как при решении вручную.

Таблица Г.32 – Тестирование реализованного метода Неймана-Монгерштерна

Тестовый пример	Входные данные	Выходные данные
№1	Первый критерий: Grades = { 3, 5, 1, 8} Importance = 0.2f	
	Второй критерий: Grades = { 4, 4, 3, 6} Importance = 0.5f Третий критерий: Grades = { 7, 1, 6, 3} Importance = 0.1f	
№2	Первый критерий: Grades = { 5, 5, 4, -4 } Importance = 0.2f Второй критерий: Grades = { 0, 4, -5, 5 } Importance = 0.2f Третий критерий: Grades = { -1, 1, 1, 1 } Importance = 0.2f	
№3	Первый критерий: Grades = { 0, 0, 0, 0 } Importance = 0.2f Второй критерий: Grades = { 0, 0, 0, 0 }	

Тестовый пример	Входные данные	Выходные данные
	Importance = 0.2f	

Тестирование метода оценки по критерию Лапласа:

Решим тестовый пример вручную. Исходные данные возьмем такими же, как при тестировании предыдущего метода, исключив вероятность наступления события. Решение этого тестового примера методом Лапласа представлено в табл. Г.33.

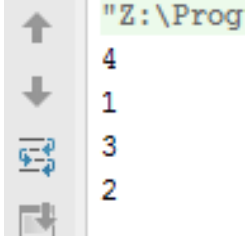
Таблица Г.33 – Решение тестового примера методом Лапласа

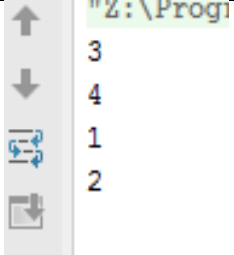
Альтернатива	Оценка	Ранг
A1	$(3 + 4 + 7)/3 = 4.7$	2
A2	$(5 + 4 + 1)/3 = 3.3$	3
A3	$(1 + 3 + 6)/3 = 3.3$	4
A4	$(8 + 6 + 3)/3 = 5.7$	1

Результат: 4, 1, 2, 3.

Протестируем реализованный метод. Результаты тестирования представлены в табл. Г.34.

Таблица Г.34 – Тестирование реализованного метода Лапласа

Тестовый пример	Входные данные	Выходные данные
№1	Первый критерий: $\text{Grades} = \{ 3, 5, 1, 8 \}$ Второй критерий: $\text{Grades} = \{ 4, 4, 3, 6 \}$ Третий критерий: $\text{Grades} = \{ 7, 1, 6, 3 \}$	

№2	Первый критерий: $\text{Grades} = \{ 0,0,0,0 \}$ Второй критерий: $\text{Grades} = \{ 4,-4,3,6 \}$ Третий критерий: $\text{Grades} = \{ -6,1,60,-3 \}$	
----	---	---

Результат, полученный при тестировании программы на примере №1 равен тому, который был получен при решении этого же примера вручную.

Приложение Д – Примеры экранов разработанных систем, формируемых ими отчетов и документов

Объект	Тип работы	Кол-во	Т/затр. на...	Стоимост...	Наименование ресурса	Кол-во	Стоимост...	Стоимост...	Общая стоим...
КРС-85x40 (12валк.) (FH-18-56)	Ср. ремонт	1	70	39742,86 р.	Герметик (уп. 200 гр.)	1 шт.	75 р.	82,5 р.	
					Подшипник: 8210	12 шт.	66 р.	871,2 р.	
					Подшипник: 6-410	2 шт.	331,5 р.	729,3 р.	
					Подшипник: 317	4 шт.	625 р.	2750 р.	
					Подшипник: 11310	26 шт.	305 р.	8723 р.	
					Болт М10х25	1 кг.	130 р.	143 р.	
					Болт М12х60	1,2 кг.	130 р.	171,6 р.	
					Болт М12х90	1,5 кг.	130 р.	214,5 р.	
					Комплект уплотнения в...	12 к-т.	1950 р.	25740 р.	
					Цель ПР-44.45-17240	10 п-м.	888 р.	9768 р.	
					Звено соединительное ...	2 шт.	112 р.	246,4 р.	
					Шпилька М16х90	24 шт.	60 р.	1584 р.	
					Гайка М16	24 кг.	17 р.	448,8 р.	
					Шайба 36х17х4	20 шт.	15,38 р.	338,36 р.	
					Шайба 50х17х4	30 шт.	19,09 р.	623,97 р.	
					Вал приводной с бурто...	12 шт.	2023,91 р.	26715,61 р.	
					Вал скребковый в сбор...	5 шт.	9866,07 р.	54263,39 р.	
					Подшипник: 16-Кр-16	10 шт.	316,92 р.	3486,12 р.	
					Звёздочка 16-Кр-14-2М	12 шт.	2396,26 р.	31498,63 р.	
					Звёздочка 16-Кр-88 ди...	1 шт.	2312,27 р.	2543,5 р.	
					Звёздочка 16-Кр-88 ди...	1 шт.	2312,27 р.	2543,5 р.	
					Прокладка ПМБ-3 диам...	12 шт.	18,83 р.	248,56 р.	
БГУ-50-3 (FT-23-03)	Ср. ремонт	1	70	23751,32 р.	П/муфта 18-Вф-38	2 шт.	1849,28 р.	4068,42 р.	
					П/муфта 18-Вф-39	2 шт.	1923,43 р.	4231,55 р.	
					Болт крепления планш...	30 шт.	146,46 р.	4833,18 р.	
					Форсунка 18-Вф-29	5 шт.	655,24 р.	3603,82 р.	
					Вкладыш щека	1 шт.	2740,5 р.	3014,55 р.	
					Подшипник: 7506	2 шт.	81 р.	178,2 р.	
					Подшипник: 7510	2 шт.	102,5 р.	225,5 р.	
					Подшипник: 7512	2 шт.	214 р.	470,8 р.	

Рисунок Д.1 – Автоматизация составления плана работ АСТОР.

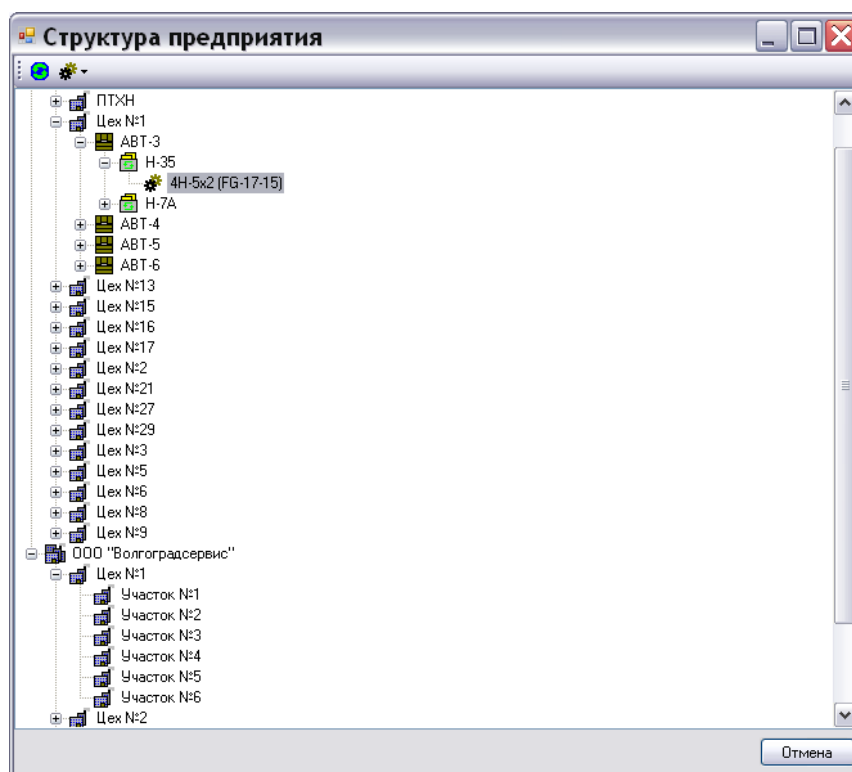


Рисунок Д.2 – Управление структурой предприятия.

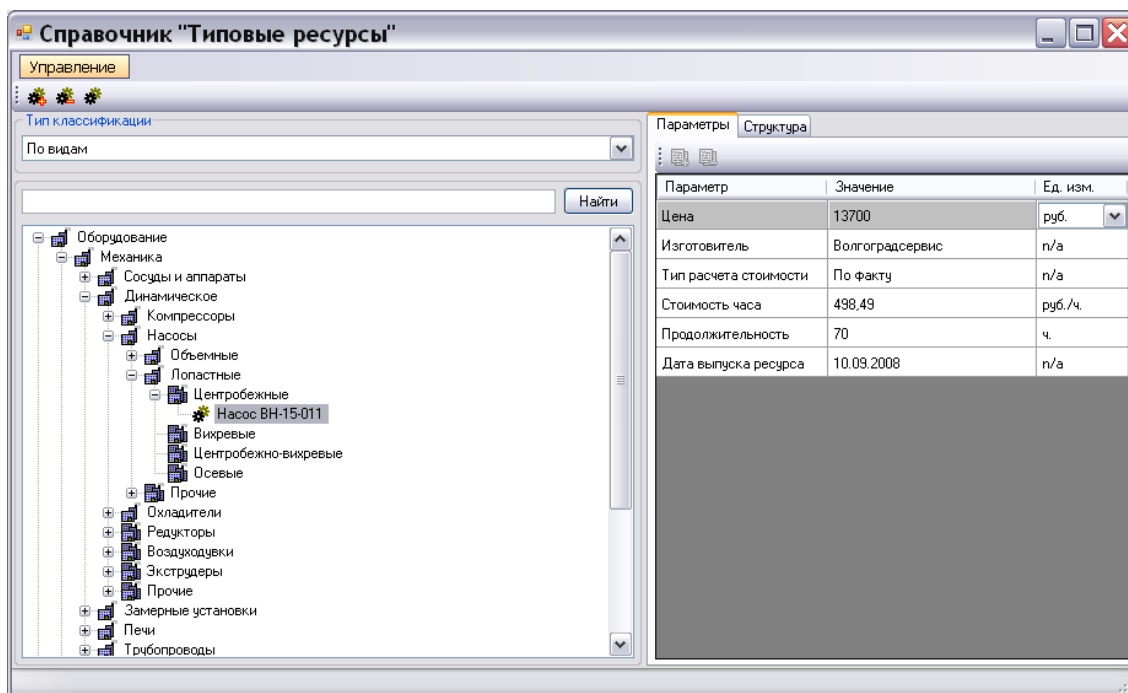


Рисунок Д.3 – Справочник «Типовые ресурсы».

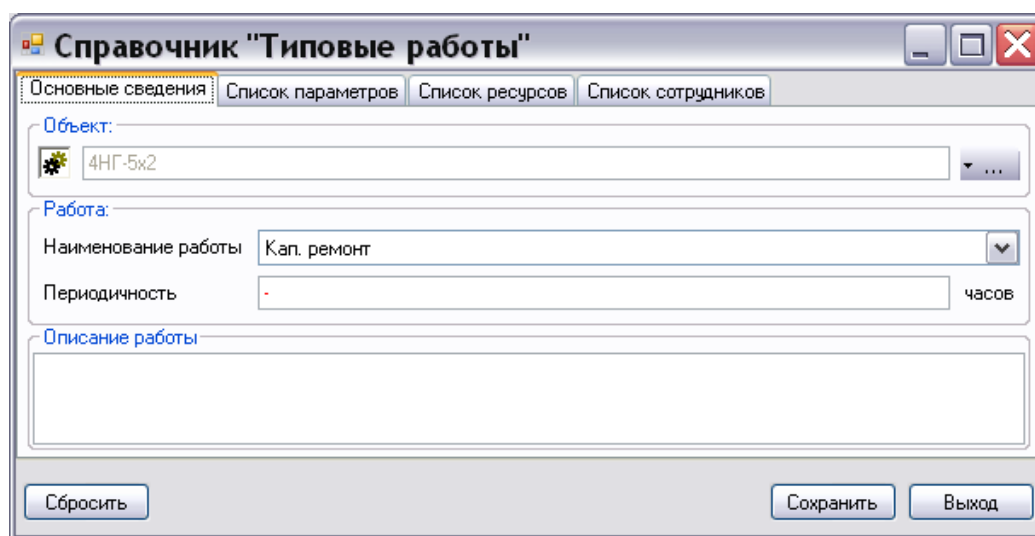


Рисунок Д.4 – Справочник «Типовые работы».

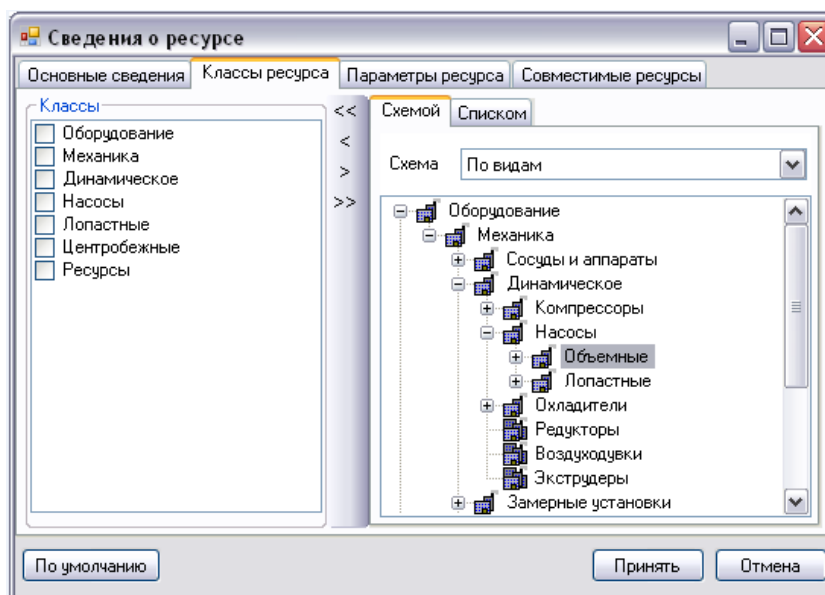


Рисунок Д.5 – Справочник «Оборудование».

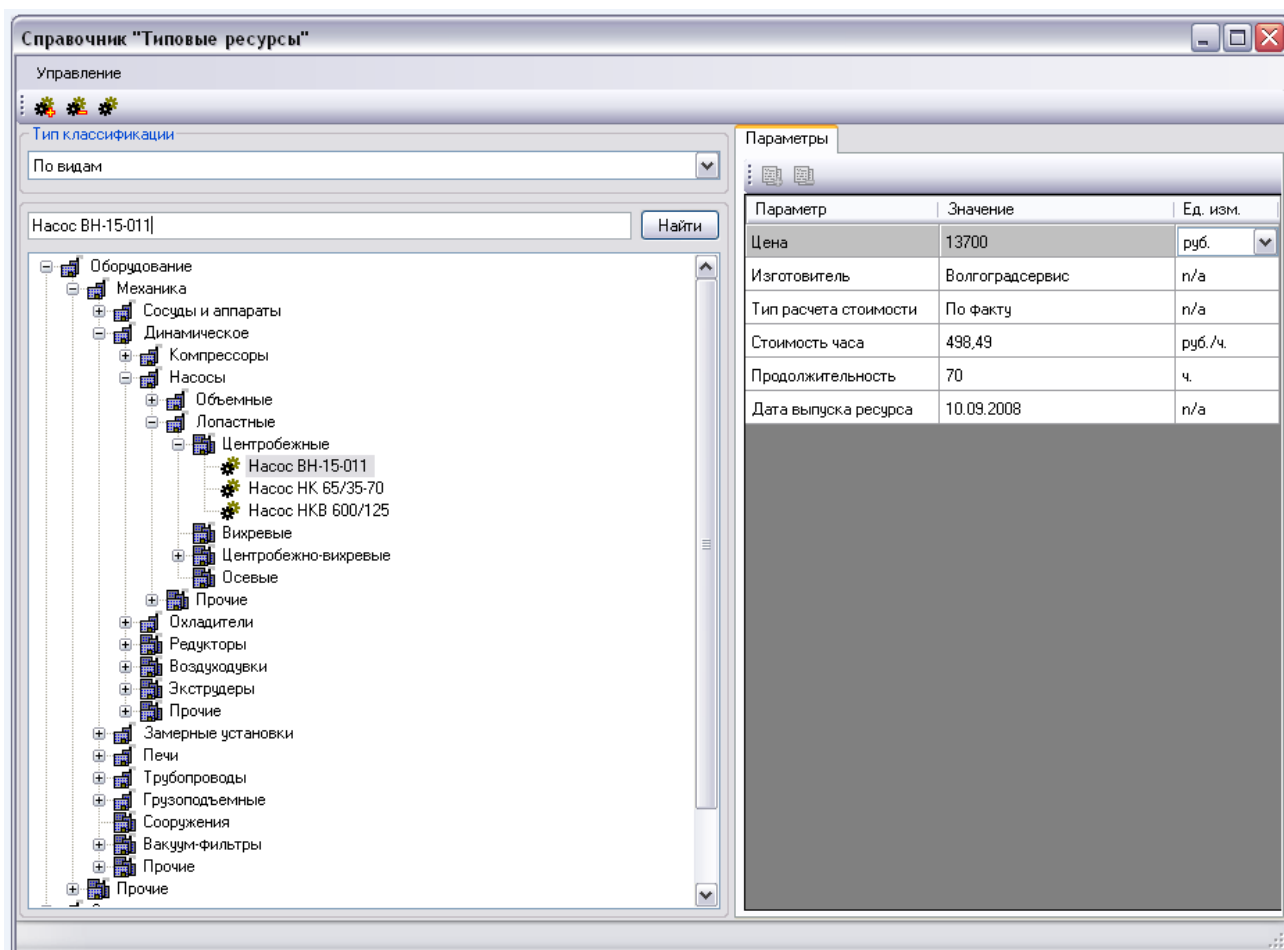
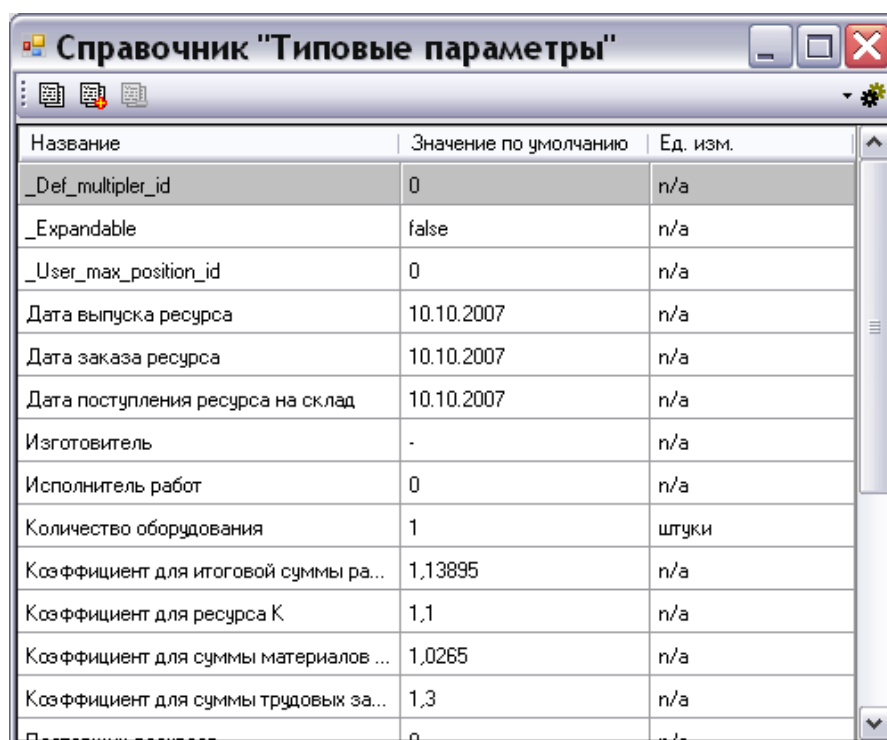
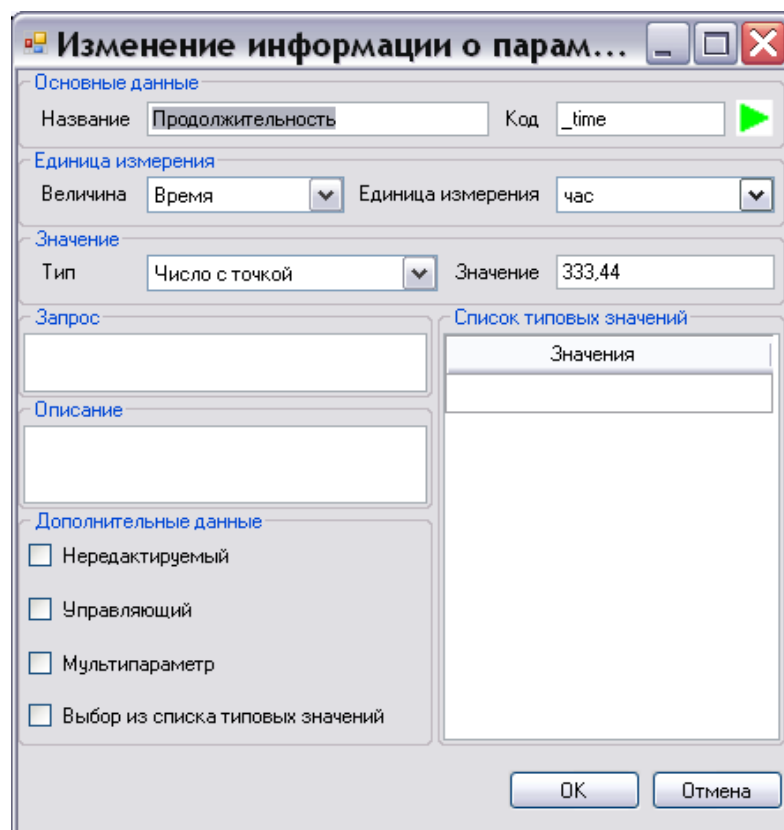


Рисунок Д.6 – Справочник «Типовые ресурсы».



Название	Значение по умолчанию	Ед. изм.
_Def_multipler_id	0	n/a
_Expandable	false	n/a
_User_max_position_id	0	n/a
Дата выпуска ресурса	10.10.2007	n/a
Дата заказа ресурса	10.10.2007	n/a
Дата поступления ресурса на склад	10.10.2007	n/a
Изготовитель	-	n/a
Исполнитель работ	0	n/a
Количество оборудования	1	штуки
Кoeffициент для итоговой суммы ра...	1,13895	n/a
Кoeffициент для ресурса К	1,1	n/a
Кoeffициент для суммы материалов ...	1,0265	n/a
Кoeffициент для суммы трудовых за...	1,3	n/a
Параметры ресурса	0	n/a

Рисунок Д.7 – Справочник «Типовые параметры».



Изменение информации о параметре

Основные данные

Название: Код:

Единица измерения

Величина: Единица измерения:

Значение

Тип: Значение:

Запрос

Описание

Дополнительные данные

☐ Нередактируемый

☐ Управляющий

☐ Мультипараметр

☐ Выбор из списка типовых значений

Список типовых значений

Значения

OK Отмена

Рисунок Д.8 – Задание параметра.

Сведения о ресурсе

Основные сведения Классы ресурса Параметры ресурса Совместимые ресурсы

Основное

Наименование: Насос ВН-15-011

Изготовитель: Волгоградсервис ☒ Предприятие

Тип

☐ Материал ☒ Оборудование

☐ Запасная часть ☐ Инструменты

Фиксированная стоимость

13700 руб.

Изображение



Описание

Предназначен для перекачки маслянистых жидкостей.
Стандартное техническое обслуживание проводится раз на 10000 литров.
Капитальный ремонт рекомендован раз на 1000000 литров.

По умолчанию Принять Отмена

Рисунок Д.9 – Сведения о ресурсе.

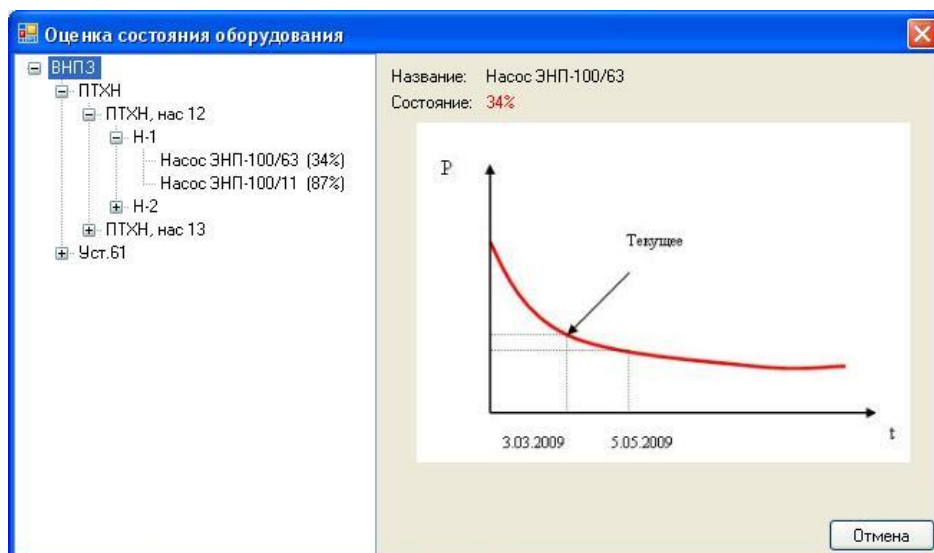


Рисунок Д.10 – Оценка состояния оборудования.

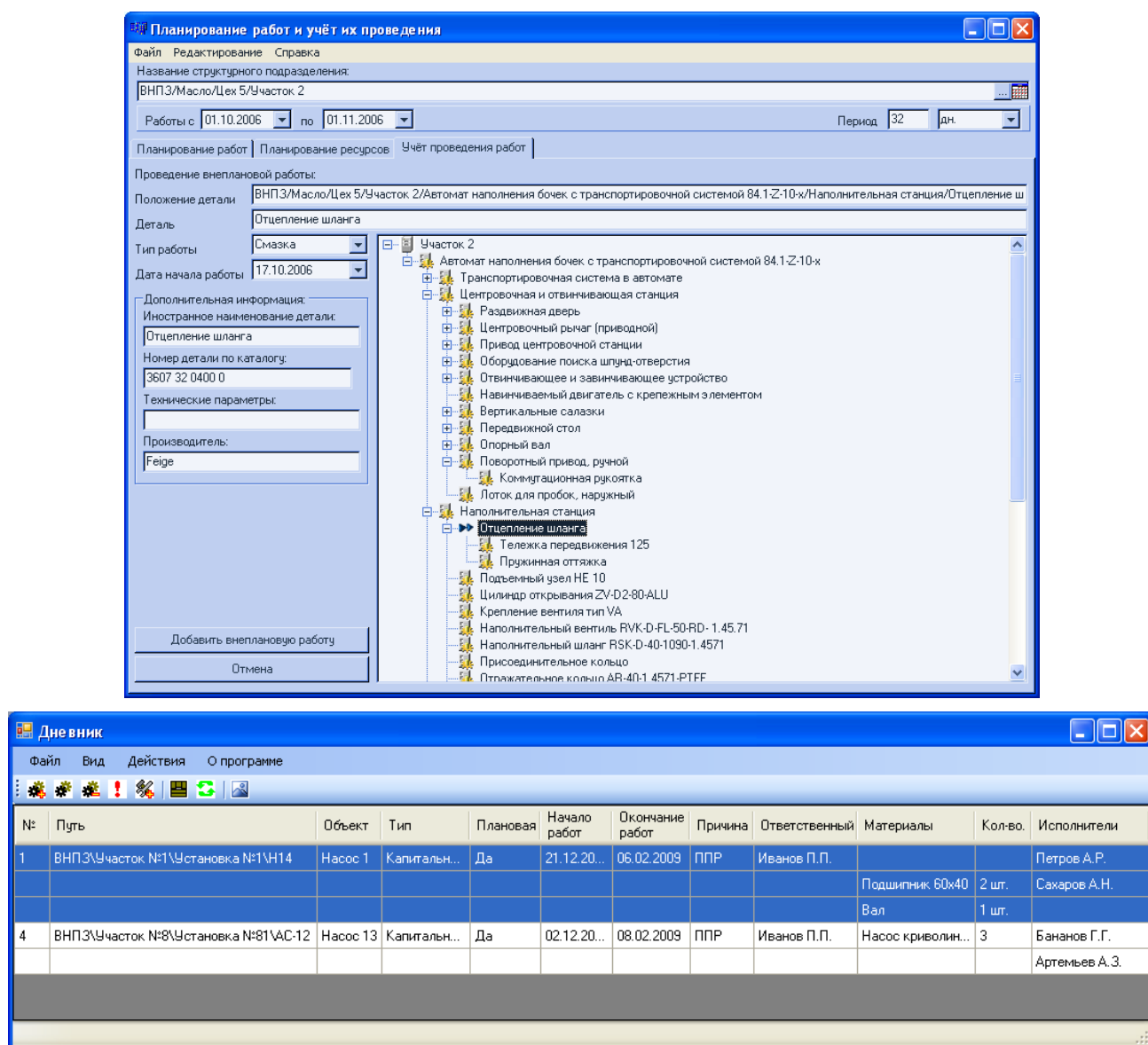


Рисунок Д.11 – Учет проведения работ.

План работ

Вид

План на: 03-Март 2008

Исполнитель: ООО "Волгоградсервис" / Цех №4 / Участок №3

Объект	Тип работы	Т/затр. на ед.	Стоимость работы	Стоимость ресурсов	Общая стоимость
Насос 4Н-5х2 (FG-17-15)	Кап. ремонт	70	8108,19 р.	13924,02 р.	22032,21 р.
Насос ЗНП-100/63 (FM-03-43)	Кап. ремонт	70	6697,03 р.	125099,43 р.	131796,46 р.
Насос 14 НДс (FG-17-32)	Ср. ремонт	70	6290,42 р.	7809,2 р.	14099,62 р.
Винтовой насос N-7, 8, 9A138 320/165 (FM-03-44)	Ср. ремонт	70	11451,91 р.	19782,71 р.	31234,62 р.
Насос НК 65/35-125 (FT-23-47)	Ср. ремонт	70	6284,84 р.	18793,85 р.	25078,69 р.
Насос 4НГ-5х2 (FT-23-48)	Ср. ремонт	70	6339,85 р.	16192,39 р.	22532,25 р.
Насос НК 200/120-210 (FM-03-04)	Кап. ремонт	70	8621,62 р.	31924,83 р.	40546,45 р.
Насос 5НГ-5х1 (FH-18-08)	Ср. ремонт	70	6284,84 р.	11418,26 р.	17703,1 р.
Насос НПС 200/700 (FM-03-05)	Кап. ремонт	70	29907 р.	171435,15 р.	201342,16 р.
Насос 5НГК 5х1 (FH-18-09)	Кап. ремонт	70	5373,57 р.	16551,72 р.	21925,29 р.
Насос 5НГК 5х1 (FT-23-50)	Кап. ремонт	70	5373,57 р.	16551,72 р.	21925,29 р.
Насос НК 65/125 (FM-03-06)	Кап. ремонт	70	7856,25 р.	18371,64 р.	26227,89 р.
Насос НК 65/125 (FH-18-10)	Кап. ремонт	70	7856,25 р.	27517,37 р.	35373,62 р.
Насос НК 210/200 (FM-03-07)	Кап. ремонт	70	7856,25 р.	31925,72 р.	39781,97 р.
Насос НК 210/200 (FG-17-17)	Кап. ремонт	70	7856,25 р.	31925,72 р.	39781,97 р.
Насос 1Д1250/63 (водяной) (FM-03-08)	Кап. ремонт	70	10707,27 р.	20320,86 р.	31028,13 р.
Насос 1Д1250/63 (водяной) (FH-18-11)	Кап. ремонт	70	10707,27 р.	20320,86 р.	31028,13 р.
Насос 1Д1250/63 (водяной) (FM-03-09)	Кап. ремонт	70	10707,27 р.	20320,86 р.	31028,13 р.
Насос НК 200/370 (FG-17-23)	Ср. ремонт	70	6897,14 р.	17353,36 р.	180250,5 р.
Насос НМШ-5-25-2 (FM-03-30)	Кап. ремонт	70	4771,63 р.	1917,88 р.	6689,51 р.
Насос НПС 120/65-750 (FH-18-33)	Ср. ремонт	70	23925,92 р.	130534,89 р.	154460,81 р.
Насос НК 65/35-70 (FT-23-62)	Ср. ремонт	70	6284,84 р.	24195,54 р.	30480,38 р.
Насос НК 65/125 (FM-03-29)	Ср. ремонт	0	0 р.	13345,36 р.	13345,36 р.
Насос НК 65/35-70 (FT-23-63)	Ср. ремонт	70	6284,84 р.	24195,54 р.	30480,38 р.
Насос НК 200/120-2БСДК (FH-18-34)	Кап. ремонт	75	8417,41 р.	34855,6 р.	43273,01 р.
Насос НК 65/35-70 (FT-23-65)	Кап. ремонт	70	7856,25 р.	35593,69 р.	43449,94 р.
Насос 6НГ 7х2 (FM-03-33)	Ср. ремонт	70	6339,85 р.	49037,67 р.	55377,53 р.
Насос 5НГК 5х1 (FH-18-35)	Ср. ремонт	70	4298,85 р.	12923,77 р.	17222,62 р.
Насос НК 200/120-210 (FT-23-66)	Ср. ремонт	70	6897,14 р.	28038,01 р.	34935,15 р.
Насос 5НГК 5х1 (FM-03-32)	Ср. ремонт	70	4298,85 р.	12923,77 р.	17222,62 р.
Насос АЦНС-10х700 (FH-18-37)	Кап. ремонт	70	29907 р.	24097,24 р.	54004,24 р.
Насос ПЗ 270х150 (FT-23-67)	Ср. ремонт	70	25566,69 р.	191195,88 р.	216762,57 р.
Насос НК 200/370 (FH-18-36)	Ср. ремонт	70	6897,14 р.	21789,09 р.	28686,23 р.

Обновить

Рисунок Д.12 – План работ.

Microsoft Excel - шаблон план работ

Наименование работ, тип оборудования, технологический индекс

Times New Roman 10

Введите вопрос

ПЛАН										Материалы		Стоимость	
ремонтных работ: Цех №4 Участок №2													
на 03-Март месяц 2008 г.													
№ п/п	Шифр, № позиции норматива	Цех №, участ №, участок	Наименование работ, тип оборудования, технологический индекс	Коп. во	Ед. изм	Т/затр на ед	Т/затр всего	Наименование, обозначение, ГОСТ, ОСТ, ТУ	Коп. во	Ед. изм	Цена, руб.	Сумма с к=1,1, руб.	Стоимость работ с учетом материалов, без НДС, руб
ВНПЗ (...)													
КБП (ВНПЗ / ...)													
1		Уст. 58	Тек. ремонт	1	шт.	70,00р.	2 442,82р.	Герметик (уп. 200 гр.)	2	шт.	75,00р.	233,36р.	2 676,17р.
10			Ротационная воздуходувка ПУ-1					Ацетон	1	л.	56,66р.	62,33р.	
Цех №2 (ВНПЗ / ...)													
2		Уст. 16	Кап. ремонт	1	шт.	0,00р.	0,00р.	Прокладка алюм. 243х214	4	шт.	64,05р.	281,82р.	437,95р.
15			ПК-101/1 марки компрессор мар					Герметик (уп. 200 гр.)	1	шт.	75,00р.	82,50р.	
16								Ацетон	1	л.	56,66р.	62,33р.	
Уст. 17													
3		Уст. 17	Тек. ремонт	1	шт.	70,00р.	7 979,83р.	Герметик (уп. 200 гр.)	2	шт.	75,00р.	226,13р.	8 205,96р.
20			161-1-К-1А марки Воздуходувка м					Прокладка ПМБ-1 диам.	1	шт.	50,27р.	55,30р.	
Уст. 17													
4		Уст. 17	Тек. ремонт	1	шт.	70,00р.	3 420,27р.	Герметик (уп. 200 гр.)	2	шт.	75,00р.	226,13р.	3 646,40р.
24			161-1-К-2А марки Воздуходувка м					Прокладка ПМБ-1 диам.	1	шт.	50,27р.	55,30р.	
Цех №5 (ВНПЗ / ...)													
Участок №1 (ВНПЗ / Цех №5 / ...)													
5			Ремонт	1	шт.	70,00р.	116,90р.	Шнек экструдера черт. 2	1	шт.	112 558,80р.	127 095,77р.	127 212,67р.
30			экструдер КЕВ 5.03					Гильза экструдера черт.	1	шт.	- р.	- р.	

Готово

Рисунок Д.13 – Шаблон документа «План работ».

**ПЛАН
ремонтных работ по Цеху № 4 участку № 3
на МАРТ месяц 2008 г.**

№ п/п	Шифр, № позиции норма- тива	Цех № / уст №, участок	Наименование работ, тип оборудования, технологический индекс	Ед. изм	Кол- во	Т/затр на ед.	Т/затр всего	Материалы					Стоимость работ с учетом материалов, без НДС, руб
								Наименование, обозначение, ГОСТ, ОСТ, ТУ	Ед. изм	Кол- во	Цена, руб.	Сумма с к=1,1 руб.	
			п.1										
	ВН-8 п. 3	АВТ-3	Ср. ремонт Н-7А НК-65/35-125	шт	1	78,83	78,83	Прокладка ПМБ-2 Ø350х325	шт.	1	24,31	26,74	30 920
								Прокладка ПМБ-2 Ø150х120	шт.	2	11,16	24,55	
								Подшипник 5-66412 КЛШ	шт	2	5 085,00	11 187,00	
								Подшипник 6-214 К	шт	2	255,50	562,10	
	ВН-8 п. 94	АВТ-3	Кап. ремонт поз.Н-35 марки 4Н-5х2	шт	1	101,7	101,70	Вал 6-Н-44	кг	1	3 166,11	3 482,72	30 460
								Прокладка ПМБ-2 Ø1000х1000	шт	1	450,27	495,30	
								Г/букса 85х50х45	шт	2	307,36	676,19	
								Подшипник 308	шт	2	183,00	402,60	
								Подшипник 208	шт	2	78,00	171,60	
								Уплотнение 3-Н-24	шт.	1	1 671,33	1 838,46	
								Уплотнение 3-Н-27	шт.	1	226,77	249,45	
	ВН-8 п. 91	АВТ-4	Ср. ремонт Н-16а марки 4НГ-5х2	шт	1	79,52	79,52	Вал 1-Н-40	шт	1	6 217,12	6 838,83	32 735
								Втулка 9-Н-8	шт	1	1 385,42	1 523,96	
								Втулка 9-Н-8а	шт	1	1 385,42	1 523,96	
								Подшипник 308	шт	2	183,00	402,60	
								Подшипник 5-66408	шт	2	925,50	2 036,10	
								Гайка 6-Н-32	шт	2	396,75	872,85	
			ПТХН										
	ВН-8 п.177	УТНП нас.6	Ср.ремонт винтового насоса №7, 8, 9 А13В 320/16Б	шт	3	47,88	143,64	Т/У УТ80	шт	6	2 920,00	19 272,00	53 681,77
Итого по цеху:												51587,01	147796,77

Начальник ПО _____ **Борисенко С.Н.**

Рисунок Д.14 – Документ плана работ по ТООР.

ПЛАН													
ремонтных работ на декабрь 2010 год													
№ п/п	Шифр, № позиции норматива	Цех № / уст №, участок	Наименование работ, тип оборудования, технологический индекс	Ед. изм	Кол- во	Т/затр на ед.	Т/затр всего	Материалы					Стоимость работ с учетом материалов, без НДС, руб
								Наименование, обозначение, ГОСТ, ОСТ, ТУ	Ед. изм	Кол- во	Цена, руб.	Сумма с к=1,1 руб.	
		Цех №3	ВНПЗ ТП ППН(цех 1) уст. АВТ-3 Н-1										86 178,97
		1 уч.	Кап.ремонт	штк.	1	92	184,00						
			Насос 8НД-6х3 (000226)										
	п. 18.11.13		Цилиндропоршневой группы с клапанами и сальниками, с притиркой и шабровкой деталей клапанов и сальников, подгонкой поршневых колец, протравкой, промывкой и очисткой колевой системы цилиндров и коленчатого вала	штк.	1	11							
	п. 18.11.8		Кривошипно-шатунной группы с кривошипными и кривошипными подшипниками	штк.	1	34							
	п. 18.11.6		Подготовить слесарей и специальный инструмент, приспособления, стропы, блоки, подкладки, подставки, протвини, стелаж для размещения деталей и узлов. Проверить подъемные сооружения.	штк.	1	47							
								Подшипник 22218	штк.	3	379,20		
								Болт М12*90	штк.	27	319,56		
								Манжета двухборт. (сальник) 105*130*12	штк.	1	1900,00		
								Цепь ПР-44.45-17240	штк.	2	1887,76		
								Гровер ф8	штк.	1	6538,80		
								ЗИП 70УТТ	штк.	1	7659,62		
								Звездочка 16-Кр-14-2М	штк.	4	652,62		

Рисунок Д.15 – План работ, выгруженный в MS Excel.

HTMLReportViewr

Файл

Отчёт по плановым работам за Март 2011 года

ПутьОборудование	Материалы	Стоимость Работы
ВНПЗ/ТП ПППН(цех 1)/уст. АВТ-3/Н-1 Насос 8НД-6х3 (000220)		738677
Декабрь года	Вал скребковый в сборе 16-Кр-82	
Цех №4 3 уч.	Герметик	
	Шпилька М16*90	
	Шпилька М16*90	
ВНПЗ/ТП ПППН(цех 1)/уст. АВТ-3/Н-7 Насос НК 210/80 (000284)		277043
Февраль 2011 года		
Цех №4 2 уч.		
ВНПЗ/КБП/Уст. 60/Н-2 Насос НК 200/370 (000242)		224153
Декабрь года	Вилка перекл.скоростей 18-Вф-34	
Цех №2 2 уч.	Болт М16*40	

Рисунок Д.16 – Отчёты по плановым работам за месяц.