

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Проектирование экспертной системы прогнозирования аварийных ситуаций на технологических объектах нефтегазодобычи.

УДК 004.891:622.276

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM81	Стерехова Валерия Сергеевна		03.06.2020

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Т.Е.	К.Т.Н.		03.06.2020

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Кузьминская Е.В.	К.Т.Н.		03.06.2020

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский В.Ю.	К.Э.Н.		27.05.2020

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Горбенко М.В.	К.Т.Н.		03.06.2020

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООП ИШИТР	Ефимов С.В.	К.Т.Н.		03.06.2020

Томск – 2020 г.

Запланированные результаты обучения

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	применять глубокие естественно-научные, математические знания в области анализа, синтеза и проектирования для решения научных и инженерных задач производства и эксплуатации автоматизированных систем, включая подсистемы управления и их программное обеспечение.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-3, ОПК-1, ОПК-4, ОК-1, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации автоматизированных систем, принимать участие в командах по разработке и эксплуатации таких устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-4, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОК-1, ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-9), Критерий 5 АИОР(пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	применять и интегрировать полученные знания для решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных автоматизированных систем и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием технологий машинного обучения, современных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-15, ПК-18, ОПК-3, ОПК-6, ОК-1, ОК-5, ОК-6, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	определять, систематизировать и получать необходимую информацию в области проектирования, производства, исследований и эксплуатации автоматизированных систем, устройств и подсистем.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-18, ОПК-4, ОПК-6, ОК-1, ОК-4, ОК-6, ОК-8), Критерий 5 АИОР (п.1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования для целей проектирования,	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-13, ПК-17, ПК-18, ОПК-2,

	производства и эксплуатации систем управления технологическим процессом и подсистем (в том числе интеллектуальных) с использованием передового отечественного и зарубежного опыта, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы.	ОПК-3, ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9), Критерий 5АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р6	понимать используемые современные методы, алгоритмы, модели и технические решения в автоматизированных системах и знать области их применения, в том числе в составе безлюдного производства.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-3, ПК-7, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4, ОК-5, ОК-9, ОК-10), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Универсальные		
Р7	эффективно работать в профессиональной деятельности индивидуально и в качестве члена команды.	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2 ПК-7, ПК-8, ПК-16, ПК-17, ОК-1, ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-9), Критерий 5АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р8	владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий	Требования ФГОС (ПК-4, ПК-8, ПК-9, ПК-16, ОПК-4, ОК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники

Направление подготовки (специальность) 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____13.04.2020 Ефимов С.В.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ81	Стерехова Валерия Сергеевна

Тема работы:

Проектирование экспертной системы прогнозирования аварийных ситуаций на технологических объектах нефтегазодобычи.

Утверждена приказом директора (дата, номер)

134-22/с от 13.05.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:

03.06.2020

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Цель: разработать систему комплексного анализа данных промысла, представленных в виде временных рядов, которая предназначена для предсказания неисправностей и предаварийных ситуаций оборудования.

Результатом работы является разработанная экспертная система прогнозирования аварийных ситуаций на объектах нефтегазодобычи.

Объектом разработки является система анализа данных промысла, которая предназначена для предсказания неисправностей и предаварийных ситуаций оборудования.

	<p>Применение результатов данной работы позволит предотвращать аварийные ситуации на оборудовании и вовремя провести его обслуживание.</p> <p>Прогнозом дальнейшего развития является улучшение и расширение разработанной системы.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор источников литературы по следующим тематикам: <ul style="list-style-type: none"> – Разработки в данной области; – Принцип работы оборудования; – Машинное обучение. 2. Реализация эталонной модели оборудования; 3. Анализ вход-выходных данных с оборудования; 4. Проектирование системы прогнозирования; 5. Анализ полученных результатов.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич, доцент ОСГН ШБИП, к.э.н.
Социальная ответственность	Горбенко Михаил Владимирович, доцент ООД ШБИП, к.т.н.
Раздел на иностранном языке	Горбатова Татьяна Николаевна, старший преподаватель ОИЯ ШБИП
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Введение</p> <p>1 ОБЗОР ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМАТИКЕ ИССЛЕДОВАНИЯ</p> <p>1.1 Понятие системы прогнозирования</p> <p>1.2 Анализ отказов оборудования</p> <p>1.3 Методы предотвращения отказов</p> <p>1.4 Существующие системы прогнозирования</p> <p>1.5 Постановка задачи</p> <p>2 РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ</p> <p>2.1 Анализ работы оборудования</p> <p>2.2 Анализ моделей прогнозирования</p> <p>2.3 Структура системы прогнозирования</p>	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	24.02.2020

Задание выдал руководитель/консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Т.Е.	к.т.н.		24.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ81	Стерехова Валерия Сергеевна		24.02.2020

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки (специальность) 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств
Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники
Период выполнения весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
03.06.2020	Основная часть	60
27.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
05.06.2020	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н.		24.02.2020

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Ефимов С.В.	к.т.н.		24.02.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8TM81	Стерехова Валерия Сергеевна

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	—
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Действующие ставки единого социального налога и НДС, ставка дисконтирования = 0,1 (см. МУ)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Дать характеристику существующих и потенциальных потребителей (покупателей) результатов ВКР, ожидаемых масштабов их использования
2. Разработка устава научно-технического проекта	Разработать проект такого устава в случае, если для реализации результатов ВКР необходимо создание отдельной организации или отдельного структурного подразделения внутри существующей организации
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет цены результата ВКР.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка экономической эффективности использования результатов ВКР, характеристика других видов эффекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> «Портрет» потребителя результатов НТИ Сегментирование рынка Оценка конкурентоспособности технических решений Диаграмма FAST Матрица SWOT График проведения и бюджет НТИ - <u>выполнить</u> Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ - <u>выполнить</u> Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.02.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский В.Ю.	К.Э.Н.		24.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ81	Стерехова Валерия Сергеевна		24.02.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8TM81	Стерехова Валерия Сергеевна

Школа	ИШИТР	Отделение	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР: «Проектирование экспертной системы прогнозирования аварийных ситуаций на технологических объектах нефтегазодобычи»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Цель: разработать систему комплексного анализа данных промысла, представленных в виде временных рядов, которая предназначена для предсказания неисправностей и предаварийных ситуаций оборудования.
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	1. Трудовой кодекс РФ; 2. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. 3. СанПиН 2.1.2.1002-00 4. СанПиН 2.2.2.1332-03 5. СанПиН 2.2.2.548-96 6. СН 2.2.42.1.8.562-96 7. СП 31-110-2003 8. СП 12.13130.2009 9. СП 52.13330.2016
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения: микроклимат; шум; освещение; электромагнитное и электростатическое излучения.
3. Экологическая безопасность:	Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возникновение пожара.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.02.20
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Горбенко Михаил Владимирович	к.т.н.		24.02.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM81	Стерехова Валерия Сергеевна		24.02.20

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит 117 страниц машинописного текста, 28 таблиц, 14 рисунков, 28 формул, 48 источников литературы, 1 приложение.

Ключевые слова: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТИПА «ОТКАЗ», ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ, ЭТАЛОННАЯ МОДЕЛЬ, АНАЛИЗ ДАННЫХ.

Цель работы – разработать систему комплексного анализа данных промысла, представленных в виде временных рядов, которая предназначена для предсказания неисправностей и предаварийных ситуаций оборудования нефтегазодобычи.

Результатом работы является разработанная экспертная система прогнозирования аварийных ситуаций на объектах нефтегазодобычи.

Объектом разработки является система анализа данных промысла, которая предназначена для предсказания неисправностей и предаварийных ситуаций оборудования.

Применение результатов данной работы позволит предотвращать аварийные ситуации на оборудовании и вовремя провести его обслуживание.

Перспективами дальнейшего развития является улучшение и расширение разработанной системы, увеличение типов отказов для прогноза.

Определения, обозначения

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Термин	Определение
RCM	Reliability centered maintenance - это методология планирования обслуживания технических систем на основе инженерного анализа возможных отказов систем
LSTM	Long short-term memory - разновидность архитектуры рекуррентных нейронных сетей.
Нейрон	Узел искусственной нейронной сети, являющийся упрощённой моделью естественного нейрона
База знаний	База данных, содержащая правила вывода и информацию о человеческом опыте и знаниях в некоторой предметной области

Обозначения и сокращения

В настоящей работе используются следующие сокращения:

Аббревиатура	Краткая характеристика
ТО	Техническое обслуживание
ПО	Программное обеспечение
СУ	Система управления
АСУ ТП	Автоматизированная система управления технологическим процессом
RCM	Reliability centered maintenance
LSTM	Long short-term memory
АСУП	Автоматизированная система управления производством
КИУС	Корпоративная информационно-управляющая система
MES	Manufacturing execution system

Содержание

Введение.....	17
1 Обзор источников литературы по тематике исследования	19
1.1 Понятие системы прогнозирования	19
1.2 Анализ отказов оборудования	20
1.3 Методы предотвращения отказов	22
1.4 Существующие системы прогнозирования.....	23
1.5 Постановка задачи	25
2 Разработка концепции системы прогнозирования отказов.....	26
2.1 Анализ работы оборудования.....	26
2.2 Анализ моделей прогнозирования	28
2.3 Структура системы прогнозирования.....	33
3 Проектирование системы прогнозирования отказов.....	35
3.1 Анализ данных	35
3.1.1 Формирование данных для создания эталонной модели.....	35
3.1.2 Обработка и фильтрация данных	37
3.1.3 Формирование данных по аварийным ситуациям.....	38
3.2 Создание эталонной модели	39
3.2.1 Методы машинного обучения	39
3.2.2 Архитектура нейронной сети	40
3.2.3 Разработка нейронной сети эталонной модели	43
3.2.4 Обучение нейронной сети эталонной модели	45
3.2.5 Оценка качества нейронной сети эталонной модели.....	46
3.3 Проектирование системы анализа отклонений.....	48
3.3.1 Формирование базы знаний.....	48
3.3.2 Разработка структуры нейронной сети системы анализа отклонений. 48	
3.3.3 Обучение нейронной сети системы анализа отклонений.....	49
3.3.4 Оценка качества нейронной сети системы анализа отклонений	50
3.4 Анализ результатов.....	52
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	53

4.1	Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	53
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	53
4.1.2	SWOT-анализ	54
4.1.3	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	55
4.2	Организация и планирование работ	57
4.2.1	Организация и планирование НИР	57
4.2.2	Определение продолжительности этапов работ	58
4.3	Расчет сметы затрат на выполнение проекта	64
4.3.1	Расчет затрат на электроэнергию	64
4.3.2	Расчет затрат на материалы	65
4.3.3	Расчет основной и дополнительной заработной платы персонала.....	65
4.3.4	Расчет затрат на социальный налог	67
4.3.5	Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов	67
4.3.6	Расчет амортизационных расходов	68
4.3.7	Расчет прочих расходов	69
4.3.8	Расчет общей себестоимости разработки.....	69
4.3.9	Расчет прибыли, НДС, цена разработки	70
4.3.10	Оценка экономической эффективности исследования	71
5	Социальная ответственность	74
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	75
5.1.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства	75
5.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	77
5.2	Профессиональная социальная безопасность	78
5.2.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования	78
5.2.2	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	79
5.2.3	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	80

5.3 Экологическая безопасность.....	88
5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	88
5.3.2 Анализ «жизненного цикла» объекта исследования.....	88
5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	90
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	90
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	90
5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	91
5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	93
Заключение	97
Список использованных источников	98
Приложение А(обязательное) Часть ВКР на английском языке.....	102

Введение

Для обеспечения эффективной работы предприятия, в первую очередь компании необходимо поддерживать основные показатели производственной деятельности на высоком уровне:

- качество и количество продукции;
- скорость обработки данных;
- безопасность производства;
- оптимизация технологических процессов.

Аварии и простои технологического оборудования сильно влияют на данные показатели и снижают эффективность работы предприятия. Поэтому, в последние несколько лет обслуживание промышленных систем в их рабочих режимах является одной из основных стратегических проблем, стоящих перед отраслью, от проектирования машины до ее эксплуатации.

Таким образом, диагностическая система необходима для обеспечения бесперебойной и непрерывной работы динамических систем и для повышения их производительности за счет обеспечения большей надежности. Действительно, диагностическая система используется для обеспечения системы управления необходимыми реальными данными рабочего состояния динамической системы в исправном и в неисправном режиме. С другой стороны, диагностическая система должна удовлетворять требованию надежности, чтобы избежать практических случаев необнаружения отказа и ложных срабатываний, что означает предотвращение возможных случайных и катастрофических ситуаций. Диагностические системы основаны главным образом на сравнении фактического поведения системы с эталонным, представляющим исправную работу. Это сравнение позволяет выявить поведенческие изменения, вызванные появлением неисправностей.

Кроме того, операторам необходим инструмент прогнозирования для оценки вероятности отказа промышленных систем, чтобы определить их приоритетность ремонта и проверки до того, как произойдет отказ.

Следовательно, существует необходимость в разработке объективной модели прогнозирования отказов для нефте- и газооборудования, основанной на исторических авариях. Модель поможет операторам предпринять необходимые действия для предотвращения аварийного отказа.

В настоящей работе рассматривается создание системы комплексного анализа данных промысла для предсказания неисправностей и предаварийных ситуаций оборудования с помощью средств машинного обучения. В первой главе проведен обзор источников литературы по работам в этой области. Во второй главе описываются теоретическое подведение к разработке системы прогнозирования отказов, а также разработка структуры системы. В третьей главе описываются методы, архитектура, структура построения эталонной модели оборудования и системы анализа данных. В четвертой главе проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности. В пятой главе проведен анализ на выявление опасных и вредных факторов рабочего места инженера, разработаны меры по снижению воздействия этих факторов на человека, а также рассмотрены вопросы по производственной санитарии, технике безопасности, пожарной безопасности, охране окружающей среды.

Целью работы является разработка системы комплексного анализа данных промысла, представленных в виде временных рядов, которая предназначена для предсказания неисправностей и предаварийных ситуаций оборудования. Практическая новизна, а также значимость данной работы заключается в том, что такая система может быть полностью или частично применена на оборудовании нефтегазодобычи.

1 Обзор источников литературы по тематике исследования

1.1 Понятие системы прогнозирования

Прогнозирование — это метод, который использует исторические данные в качестве входных данных для обоснованных оценок, которые являются прогностическими при определении направления будущих тенденций. Прогнозирование представляет собой сложный процесс, по ходу которого необходимо решать большое количество различных вопросов. Для его производства следует применять в сочетании различные методы прогнозирования, которых на сегодняшний день существует огромное множество, но на практике используются всего 15 – 20 [1]. На рисунке 1 представлены наиболее популярные методы прогнозирования.

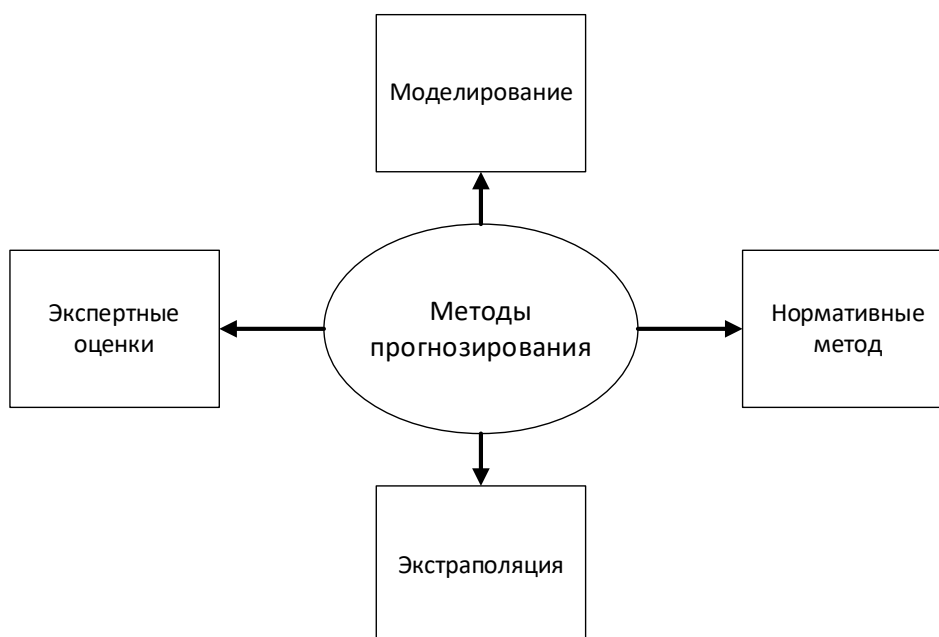


Рисунок 1 – Методы прогнозирования

Метод экспертных оценок. Основная идея метода заключается в том, что прогноз основывается на мнении одного или нескольких экспертов, которое основано на практическом, профессиональном или научном опыте.

Метод экстраполяции. Суть метода экстраполяции заключается в изучении сложившихся стойких тенденций развития и перенос этих тенденций в основу прогноза. Экстраполяцию различают на прогнозную и формальную. Формальная экстраполяция - это принятие факта о том, что в будущем

сохраняться тенденции развития прошлого и настоящего; Прогнозная экстраполяция – это прогнозирование с учетом того факта, что в будущем на процесс будут влиять различные факторы, и степень их влияния переменчива.

Методы моделирования. Представляет из себя воспроизведение моделей на основе предварительного исследования объекта, выделение его важных характеристик и признаков. Такой метод прогнозирования представляет из себя разработку модели, ее анализ, а также сопоставление результатов прогноза с реальными данными состояния объекта или процесса, доработку и корректировку модели.

Нормативный метод. Сущность метода заключается в технико-экономических обоснованиях предсказания с использованием норм и нормативов. Метод применяется для расчета потребности в ресурсах и показателей использования этих ресурсов.

В данной работе используются элементы всех вышеперечисленных методов, которые будут описаны далее.

1.2 Анализ отказов оборудования

Отчеты CONCAWE классифицируют причины или типы отказов, которые могут произойти на нефте- и газооборудовании, по следующим категориям [2]

По характеру изменения параметров объекта:

- Прогрессивный (параметрический) сбой означает сбой, вызванный постепенным одним или несколькими параметрами без быстрых скачков. Обычные сбои могут быть предотвращены и устранены с помощью текущего обслуживания. Причины: старение материала, коррозия, износ деталей и т. д.
- Внезапный (мгновенный) отказ. Характеризуется внезапным изменением одного или нескольких параметров. Обычно он показывает быстрое спонтанное повреждение (разрыв, перелом, разрыв и т. д.) И не сопровождается явными признаками. Причина: внутренний сбой, ошибка оператора, нарушение режима работы. Однако в большинстве случаев причина события не может быть

определена немедленно, и остается неизвестной в течение определенного периода времени, и ее можно определить с помощью теории вероятностей.

Так же отказы следует рассмотреть с точки зрения причины возникновения:

- Конструкционный: структурные дефекты могут вызвать разрушение конструкции. Причины: ошибки в разработке и проектировании объекта, непонимание границ безопасности, нарушение стандартов ГОСТ и т. Д.

- Производственный: Отказы производства вызваны нарушениями технологии производства или ошибками технического обслуживания. Причины: несоблюдение стандартов документации, использование некачественных материалов и комплектующих, недостаточный контроль качества продукции.

- Эксплуатационный: Нарушение правил оборудования и/или условий эксплуатации может привести к сбоям в работе. Причина: ошибки низкоквалифицированного обслуживающего персонала, игнорирование/нарушение правил технической документации, ошибки старения и износа оборудования.

- Деградационный: Характеристика деградации заключается в том, что под воздействием следующих причин объект постепенно приближается к своему конечному состоянию: физическому износу, старению и усталости в соответствии со стандартами производственной эксплуатации.

- Третья сторона: сбой в результате действия третьей стороны, случайных или преднамеренных. Сюда также входит «случайный» ущерб третьей стороны, который не был обнаружен при его первоначальном возникновении, но через некоторое время стал причиной сбоя.

Эти основные пять типов сбоев различаются по своему возникновению. На рисунке 2 показано распределение этих отказов в процентах от их возникновения в течение 25 лет (с 1971 по 1996 год) на основе двух статистических отчетов CONCAWE [2]

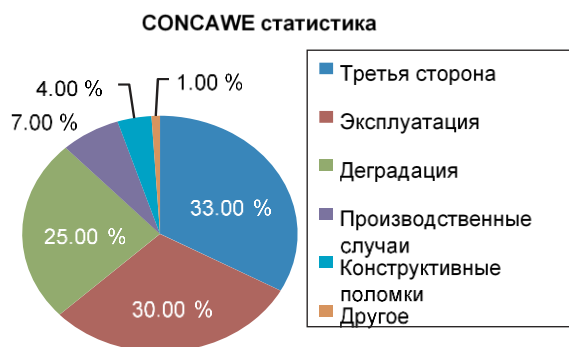


Рисунок 2 – Статистика отказов оборудования CONCAWE

Как видно из диаграммы, на отказы, которые можно предсказать, а именно деградацию оборудования, конструктивные поломки и ошибки эксплуатации, приходится около 62 %.

1.3 Методы предотвращения отказов

Ухудшение состояния и производительности оборудования обычно связано с нарушением центровки или балансировки, коррозией и износом, загрязнением, образованием отложений или недостаточной смазкой компонентов. Обнаружение этих глубинных проблем на ранней стадии позволяет устранить дефекты до того, как они успеют повлиять на производственный процесс, и способствует оптимизации работы предприятия.

К методам профилактики отказов можно отнести следующие [3].

- Плановое техническое обслуживание оборудования. Объем работ по техническому обслуживанию определяют по годовым планам технического обслуживания оборудования в течении всего срока службы оборудования. В нем указывают вид оборудования, число видов периодических технических обслуживаний, которое необходимо выполнить за ним в течение года, и трудоемкость выполнения работ. Срок службы оборудования — это календарное время эксплуатации, обусловленное уровнем морального и физического износа оборудования.

- Функциональное тестирование. Периодически проводимые проверки работоспособности технического и программного обеспечения

системы на соответствие Спецификации требований безопасности. Представляет из себя опробование работы всех функциональных элементов оборудования в межремонтный период путем их однократного дистанционного отключения и включения.

– Мониторинг оборудования в режиме реального времени. Постоянный оперативный мониторинг обеспечивает системе управления оборудования возможность осуществления диагностики в реальном времени и оповещение операторов о текущем состоянии агрегатов, что позволяет персоналу принимать обоснованные решения по останову или продолжению производства.

– Предиктивные методы. Анализ ухудшения рабочих характеристик оборудования в режиме реального времени, в основе которого лежат алгоритмы прогнозирования отказов, что позволяет выявить основную причину его неэффективности и соответственно спланировать мероприятия по упреждающему техническому обслуживанию вовремя.

В основном, на объектах нефте-газодобычи в РФ применяется плановое обслуживание согласно предписаниям завода изготовителя оборудования, и мониторинг оборудования в режиме реального времени оперативным персоналом. Даже если оборудование отказывает не часто, в условиях, когда основой производственной базы является механическое оборудование, любой его отказ может иметь колоссальные последствия. Один длительный перерыв в технологическом процессе зачастую является ключевым фактором, под действием которого изначально прибыльное производство приносит убытки. С экономической точки зрения, наличие надежной системы защиты, прогнозирования и контроля рабочих характеристик становится крайне важным условием.

1.4 Существующие системы прогнозирования

Подходы диагностики неисправностей, применяемые в отраслях нефтегазодобычи, обычно делятся на два основных класса, такие как

диагностические подходы, основанные на математической модели, и диагностические подходы, основанные на анализе данных. Подходы к математической модели неисправностей включают подход наблюдателя [4], подход на основе четности [5] и подходы, основанные на идентификации системы [6]. Подходы к анализу данных о неисправностях включают модель на основе искусственного интеллекта (нечеткая логика, нейронные сети и т. Д.) [7], статистические подходы и подходы, основанные на обработке сигналов [8,9].

Несколько работ, в которых представлены основные проблемы предлагаемых подходов к диагностике на установках (газовый компрессор, центробежная водоохлаждающая установка, турбомашин и т. д.), таких как обнаружение неисправностей и диагностика на основе инструментов базы знаний на автоматизированной водоохлаждающей установки [10], влияние распространенных неисправностей на производительность различных типов систем сжатия пара [11], метод статистического обнаружения и диагностики сбоя для центробежных водоохлаждающих установок на основе экспоненциально взвешенных контрольных диаграмм скользящего среднего и регрессия опорных векторов [12], диагностика производительности газотурбинных компрессоров на основе метода настройки карты компонентов [13], диагностика газовой турбины для военного турбовентиляторного двигателя с большим числом оборотов на основе искусственных нейронных сетей [14], активный контроль перенапряжения для осевых компрессоров с переменной скоростью [15] и диагностики неисправностей на основе стратегии эволюции (простой генетический алгоритм и нечеткие подходы) для газовых турбокомпрессорных системы [16, 17].

Основываясь на этих исследованиях, очевиден недостаток исследований моделей прогнозирования отказов нефте- и газооборудования. Авторы не нашли объективной модели для прогнозирования выхода из строя нефте- и газооборудования. Исследования были сосредоточены либо на физических моделях, либо на субъективных моделях. Первый требует больше данных и является дорогостоящим для расчета, с другой стороны, последний основан на

опыте исследователей. Тем не менее, модель объективного прогнозирования на основе риска может помочь лицам, принимающим решения в этой области, планировать восстановление этих инфраструктур более эффективно.

1.5 Постановка задачи

На основе анализа предметной области можно отметить, что при наличии достаточного количества методов профилактики и предотвращения отказов оборудования нефтегазодобычи, больше половины отказов приходится на деградацию оборудования, конструктивные поломки и ошибки эксплуатации, которые можно было своевременно выявить и устранить. При наличии такого количества разработок в сфере предиктивной аналитики на данный момент используются только единицы, в основном на зарубежных месторождениях. В РФ профилактику отказов оборудования проводят классическими методами – плановое обслуживание и мониторинг в реальном времени оперативным персоналом. Из чего можно заключить, что несмотря на то, что область прогнозирования отказов оборудования не нова, но все еще актуальна.

Таким образом, была поставлена задача разработать систему прогнозирования отказов оборудования нефтегазодобычи на примере конкретного оборудования.

Для этого необходимо:

- разработать структуру системы прогнозирования;
- сформировать данные, пригодные для использования в системе;
- выбрать метод для разработки модели оборудования;
- разработать эталонную модель оборудования;
- разработать систему анализа данных;
- проанализировать результат.

2 Разработка концепции системы прогнозирования отказов

2.1 Анализ работы оборудования

В качестве примера оборудования для системы прогнозирования отказов была выбрана трубчатая печь ПТБ-10. Она предназначена для передачи нагреваемому продукту (например, нефтяной эмульсии) тепла. Тепло получается при сжигании топлива в топочной камере печи. Трубчатая печь является сложным многомерным и многосвязным объектом автоматизации. Целью регулирования трубчатой печи является поддержание температуры нефтяной эмульсии на выходе. На рисунке 3 представлена схема трубчатой печи ПТБ-10

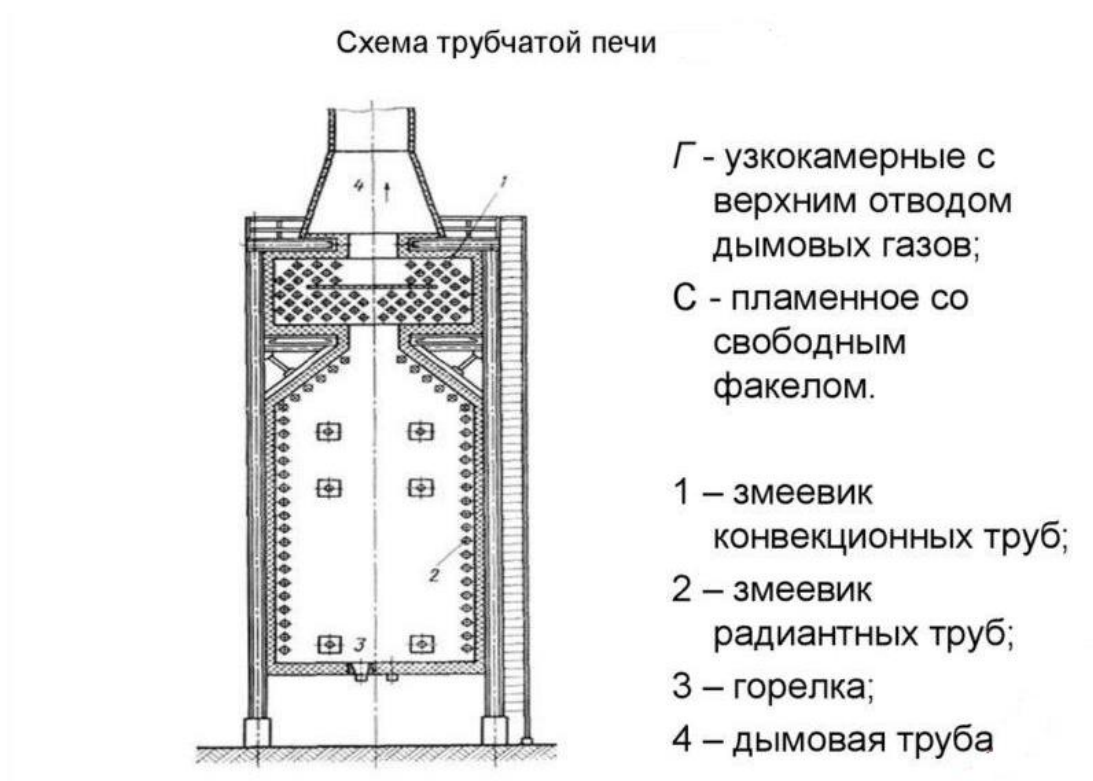


Рисунок 3 – Схема трубчатой печи ПТБ-10

Внутри печи расположен многократный изогнутый стальной трубопровод змеевик, по которому непрерывно прокачивается нагреваемой смесь. Смесь подается в конвекционную секцию после чего проходит радиантную секцию. Жидкое и газообразное топливо сжигают в горелках радиантной камеры. В результате повышается температура дымовых газов и светящегося факела, представляющего собой раскаленные частицы горячего топлива.

Тепловые лучи падают на наружные поверхности труб и внутренние поверхности стен радиантной камеры печи. Нагретые поверхности стен в свою очередь излучают тепло, которое также поглощается поверхностями радиантных труб. Большая часть используемого тепла передается в радиантные секции, остальное в конвекционные секции. Дымовые газы проходят конвекционную секцию, омывают находящиеся там трубы отдавая тепло. Эффективность передачи тепла конвекцией обусловлено скоростью движения дымовых газов. Пройдя конвекционную камеру дымовые газы уходят в дымовую трубу [18].

Самым уязвимым элементом трубчатых печей является змеевик, так как по нему движется нагреваемая нефтяная эмульсия. Он состоит из труб и соединительных печей. В змеевике в процессе эксплуатации откладываются соли и различные загрязнения. Именно отказы, связанные с загрязнением змеевика печи ПТБ-10 обучена выявлять система прогнозирования отказов. В качестве параметров печи можно выделить следующие:

- Температура дымовых газов
- Температура нефти на входе
- Давление нефти
- Давление газа
- Концентрация взрывоопасных газов
- Расход газа
- Температура газа
- Расход нефти
- Температура нефти на выходе

Эти параметры будут использованы для получения эталонной модели печи ПТБ-10.

2.2 Анализ моделей прогнозирования

На данный момент предложено много методов для прогнозирования отказов оборудования нефтегазодобычи, которые отличаются и набором входных параметров, и выходным результатом. Так же разработано готовое ПО, которое реализует алгоритмы и методы отказов оборудования. Чаще всего применяются методы статистического анализа и вероятностные методы анализа данных

1.Вероятностные методы. Суть методов сводится к применению математической статистики и теории вероятностей [19]. Для этого определяют вероятность безотказной работы оборудования, строят функции распределения случайных величин для элементов оборудования. Для того, чтобы реализовать данные методы необходимо иметь экспериментальные данные, сбор которых предполагает накопление данных, характеризующих различные режимы работы оборудования, а также данные о различных причинах отказов и поломок. Показатели надежности являются основой для прогнозирования состояния оборудования. К минусам метода можно отнести:

- для методов характерно запаздывание в обнаружение неполадки, что отрицательно влияет на качество алгоритма;
- методы требуют задания априорной информации распределении моментов возникновения отказа, что на практике трудно реализовать;
- методы не способны достоверно обнаружить плавное изменение вероятностных характеристик наблюдений. Он требует специальных знаний статистических характеристик конкретного оборудования, а это не всегда возможно.

2.Статистический анализ. Для метода статистического анализа используют архивные данные работы оборудования в период эксплуатации, на основе которых можно построить статистические модели:

- имитационные модели – структура моделей разрабатываются в зависимости от оборудования, поставленных задач и условий эксплуатации.

- регрессионные модели – прогноз значений получается исходя из значений факторов в наблюдаемый период.

- марковские процессы – с их помощью производится моделирование переходов системы из одного состояния в другое;

Достоинства метода:

- позволяют получать результаты даже при отсутствии аналитической связи между параметрами системы и результатами ее функционирования;

- позволяют строить модели практически любой сложности.

- К минусам можно отнести:

- результаты достоверны лишь с определенной, заранее задаваемой вероятностью;

- методы требуют обработки большого объема данных и практически невозможны без применения ЭВМ;

- сложно обеспечить нужную точность из-за недостатков измерительной техники и субъективности действий исследователя.

3.Предиктивная аналитика. Данные об оборудовании, его использовании, состояния внешней и внутренней среды используются для получения прогноза. Отличительной особенностью является автоматизированная обработка данных, из которых извлекаются зависимости и разного рода закономерности, на основе которых можно построить модель прогнозирования, преимущественно с помощью методов статистического анализа, например, «метод дерева отказов».

Дерево отказов — это многоуровневая графологическая структура причинных-следственных взаимосвязей, которые получены в результате отслеживания аварийных ситуаций в обратном порядке, чтобы отыскать все возможные причины их возникновения [20]. Плюсы метода, следующие:

- отражает ненадежные места в явном виде;

- есть возможность выполнять количественный или качественный анализ надежности системы;

- демонстрирует представление о поведении объекта и процесс его работы;

Недостатки метода, следующие:

- реализация метода затратная;
- схема булевой логики, отражает лишь два состояния: рабочее и отказавшее;
- невозможно учесть частичный отказ элементов оборудования;
- необходимость глубокого понимания системы и конкретного рассмотрения каждый раз только одного конкретного отказа;
- метод рассматривает систему в конкретный момент времени в установившемся режиме работы оборудования, и последовательность событий отражается крайне проблематично.

Метод дерева отказов отражает тщательный анализ причин отказов оборудования, что способствует улучшению мероприятий, эффективных для их отказов. Такой анализ проводят для каждого периода функционирования системы в целом и отдельных ее частей [20]. Главный плюс прогнозной аналитики – возможность предсказать все. К минусам относится тот факт, что реализация методов требует больших ресурсов, поэтому реализовывать методы довольно трудно, но использовать можно практически везде.

4. Методы машинного обучения. Разнообразные модели обучения, могут быть использованы для решения большого количества задачи, оперировать различными типами данных, определять неочевидные закономерности [21]. Можно выделить основные модели машинного обучения:

- Графические/генеративные модели [22, 23]. Архитектура задается со свободными параметрами. Градиентный спуск применяется к данным для настройки параметров. Требуется небольшие вычислительные ресурсы, но быстро переобучаются.
- Бустинг [24]. Алгоритм обучения может быть несовершенным, но может обеспечить нужный уровень прогнозирования за счет многократного применения разными способами. К плюсам метода можно отнести скорость его работы и хорошую автоматизацию, однако попиивает какой-то философией.

- Байесовское обучение [25]. Для модели достаточно небольшого объема входных данных, с которыми работа ведется достаточно гибко, но требует участия человека для задания априорной величины обучения, следовательно, плохо автоматизируем.

- Обучение на базе ядер [26]. Задается ядро, которое удовлетворяет необходимым условиям и используется, как эталон при обучении. Большая вычислительная сложность требует высокой производительности и при больших объемах данных не справляется с задачей прогнозирования.

- Нейронные сети [25]. Программное воплощение математической модели. К преимуществам можно отнести работу даже при неполных исходных данных, возможность установить нетривиальные связи и быструю адаптацию к изменяющимся условиям. К минусам можно отнести тот факт, что веса – величина, не имеющая интерпретации, из чего невозможно объяснить предсказание. Так же, выборка сильно влияет на время обучения и точность модели предсказания.

В общем случае, можно выделить следующие плюсы:

- Методы способны работать при неполных исходных данных;
- Методы устанавливают нетривиальные связи между входными и выходными параметрами;
- В виду их обучающей способности, быстро адаптируется к новым условиям и данным;
- Алгоритмы методов легко обучаются, а главное этот процесс подконтрольный;
- Методы заточены под работу с большими данными.

К минусам можно отнести следующее:

- Методы машинного обучения оперируют весами – это абстрактная величина, которой сложно оперировать;
- Многие алгоритмы подвержены серьезной проблеме – способности к переобучению.

- Методы требуют больших вычислительных ресурсов

5. Методология RCM. Данная технология предполагает проведение ТО, ориентированного на надежность. Позволяет определить меры, необходимые для того, чтобы система и ее элементы выполняли свои функции в рамках производственного процесса [27]. Методология RCM основана на гипотезе о том, что поддержание единицы оборудования в идеальном состоянии не самоцель. Главное обеспечить надежность критических производственных и технических процессов. Ремонтируется только то оборудование, которое действительно в этом нуждается [28].

Плюсы метода следующие:

- RCM-анализ может предсказать отказ по совокупности параметров и позволяет сократить или отказаться совсем от плановых ремонтов.

- Разработка мероприятий по ремонту

Минусы метода следующие

- Требуется много времени, чтобы увидеть результат, он очевиден сразу ;

- Реализация методов достаточно затратна;

- Большие объемы данных невозможно анализировать без автоматизированной модели, истории ремонтов и базы знаний.

Выводы: для решения задачи прогнозирования отказов нефтегазодобывающего оборудования были описаны методы статистического анализа, вероятностные методы, методы предиктивной аналитики, RCM-методы, методы машинного обучения. Методы статистического анализа и вероятностные методы могут обеспечить достоверный прогноз отказов только при наличии модели формирования отказов, которая описывает процесс отклонения от нормального или повреждения. Для оборудования нефтегазодобычи разработать такие модели крайне сложно, поскольку необходимо большое количество экспериментальных данных об отказах. Можно сказать, что эти методы не применимы в данной работе, поскольку на этом этапе разработки такие данные отсутствуют.

Методы предиктивной аналитики используют в основном статистические методы. Они дают достоверные результаты для прогноза отказов, однако требуют глубокого понимания каждого отказа, вследствие чего непригодны для реализации в данной работе.

Использование RCM-методов предполагает сортировку оборудования на элементы и определения тех, от которых в наибольшей степени зависит работоспособность всей системы. Большие объемы данных невозможно анализировать без автоматизированной модели, истории ремонтов и базы знаний.

В данной работе были использованы методы машинного обучения, так как они являются самыми перспективами, так как позволяют реализовывать модели прогнозирования с использованием как архивных, так и текущих данных, которые поступают в режиме реального времени с устройств КИПиА и получать неочевидные закономерности. Возможность обучения предполагает оперативную корректировку параметров моделей прогнозирования, даже при различных условиях работы оборудования, сокращая простои оборудования. Единственный минус данных методов – редкий отказ оборудования, из-за чего приходится оперировать экспертными оценками и опытом оперативного и обслуживающего персонала. Для этого удобно использовать нейронные сети.

2.3 Структура системы прогнозирования

Объекты нефте-газодобычи оснащены развитыми АСУ ТП, включающие встроенные средства диагностики технологического оборудования. Однако статистика инцидентов и аварий свидетельствует о том, что существующих средств диагностики недостаточно. Из-за этого происходят не только аварии, но и простои оборудования, а также внеплановые остановы. Можно судить о том, что технически АСУ ТП готовы решать эти проблемы, необходима лишь работоспособная система прогнозирования.

На рисунке 4 представлена структура системы прогнозирования.

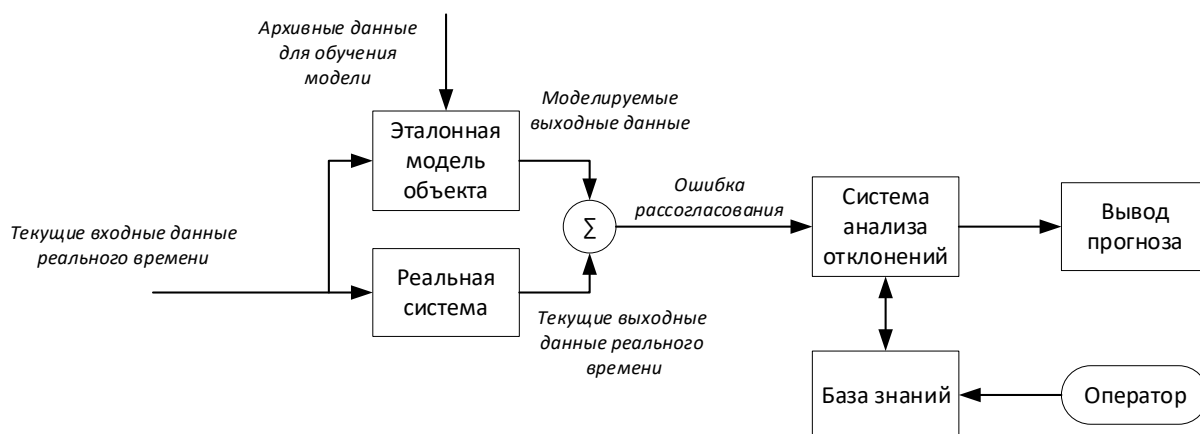


Рисунок 4 – Структура системы прогнозирования

Реальная система - в качестве технологического объекта была взята блочная трубчатая печь ПТБ-10.

Эталонная модель объекта представляет из себя модель реального оборудования, построенная на архивных вход-выходных данных с печи ПТБ-10, имитирующая нормальный режим ее работы.

Система анализа отклонений формируется на основе архивных данных об отказах оборудования, сформированная в формате базы знаний, а также экспертного мнения.

База знаний представлена в виде данных, занесенных оператором/аналитиком, содержащая правила ввод, обработки, хранения и вывода параметров.

Текущие входные данные реальной системы так же являются входными данными для эталонной модели. Разностный сигнал между выходными сигналами эталонной модели и реальной системы, называемый ошибкой рассогласования, поступает на вход системы анализа отклонений, где рассчитывается вероятность той или иной аварийной ситуации, после чего формируется вероятностный прогноз поломки, если таковая имеется.

Ключевой особенностью данной структуры является ее универсальность и применимость к любому технологическому оборудованию, при условии наличия достаточного объема вход-выходных данных оборудования и данных о его отказах.

3 Проектирование системы прогнозирования отказов

3.1 Анализ данных

3.1.1 Формирование данных для создания эталонной модели

Распространённые сегодня системы мониторинга оборудования сравнивают показания датчиков с типовой моделью. В реальности каждая установка имеет уникальные особенности и отличается параметрами функционирования. Был выбран подход, который основан на технологии эмпирических моделей, когда система создаётся на основе архивных данных о нормальной работе установки в различных режимах. В идеальном варианте, данные необходимо снимать с оборудования, только введенного в эксплуатацию. Это позволит разработать эталонную модель этой установки в ее самом работоспособном и эффективном состоянии. Получить реальные вход-выходные параметры печи ПТБ-10 на данном этапе разработки не представилось возможным, однако нашлось немало операторно-структурных моделей печи. Реализовав одну из них [29], были получены вход-выходные данные, в виде временных рядов. Алгоритм получения данных следующий:

1. Генерация входных данных нормальной работы оборудования в программной среде PyCharm на языке Python с помощью библиотеки Pandas.

Параметры генерации представлены в таблице 1

Таблица 1 – Параметры генерации входных данных

Параметр	Значение	
Тип распределения	Нормальное распределение	
Период	1 минуту	
Математическое ожидание, дисперсия, длина масштаба процесса	P нефти	0.9, 0.3, 0.01
	T нефти на выходе	5, 0.5, 0.01
	T газа	400, 0.45, 0.01
	F нефти	0.8, 0.3, 0.01

2. Загрузка входных данных в модель печи. Структурная схема системы представлена рисунке 5.

3. Снятие выходных данных с системы.
4. Преобразование выходных данных во временные ряды, с периодом 1 минуту.

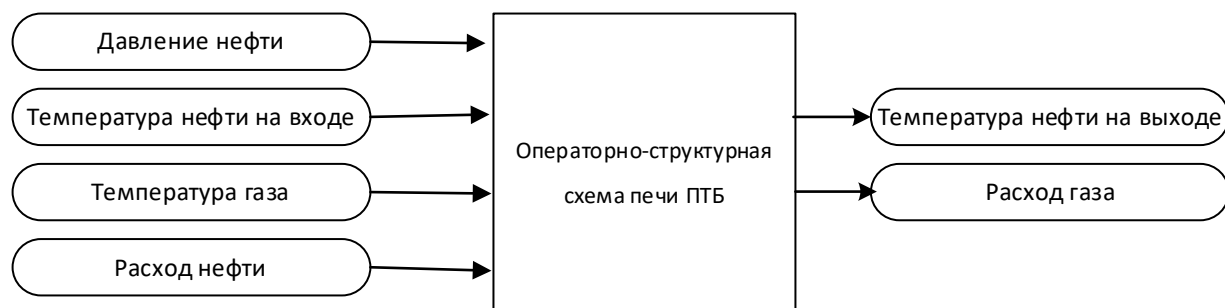


Рисунок 5 – Структурная схема печи

В таблице 2 представлена структура входных данных.

Таблица 2 – Исходные данные

Время	P нефти, МПа	T нефти на входе, °C	T газа, °C	F нефти, м3/с
00:00:00	0.86	5.23	11.14	0.12
00:01:00	0.85	5.23	11.92	0.16
...
72:00:00	1.2	24.65	80.23	0.86

Обучающая выборка формируется из 1000 сгенерированных наборов данных, каждый из которых содержит 4 временных ряда по 4500 значений в каждом, характеризующих работу оборудования сроком в три дня.

Так как данные разные по физическому смыслу, их абсолютные величины разнятся между собой. Работа аналитических моделей машинного обучения может быть некорректной: дисбаланс между значениями признаков может вызвать неустойчивость работы модели, ухудшить результаты обучения и замедлить процесс моделирования.

Поэтому данные необходимо нормализовать в диапазоне от [0:1]. Это позволит свести их вместе в одной модели и обеспечит корректную работу вычислительных алгоритмов. В таблице 3 представлена структура нормализованных входных данных

Таблица 3 – Нормализованные входные данные

Время	P нефти, МПа	T нефти на входе, °C	T газа, °C	F нефти, м3/с
00:00:00	0.573333333	0.107684211	0.022893617	0.08
00:01:00	0.566666667	0.107684211	0.024	0.106666667
...
72:00:00	0.8	0.312105263	0.440042553	0.573333333

3.1.2 Обработка и фильтрация данных

Предварительная обработка необходима для того, чтобы удалить точки с пропущенными данными, а также выбросы, которые могут быть результатом ошибки в записи данных. Чтобы получить наиболее эффективные результаты, данные были преобразованы фильтром Калмана.

Фильтр Калмана представляет собой набор математических уравнений, который обеспечивает эффективный рекурсивный вычислительный алгоритм для обеспечения оценки состояний выходов динамических систем таким образом, чтобы минимизировать среднее значение квадрата ошибки между оцененными выходными значениями и реальными или измеренными выходными данными.

На практике оказалось, что о физике изменения параметров датчиков КИПиА известно не так много. Поэтому применим упрощенную формулу вычисления [30]:

$$x_{k+1}^{opt} = K_{stab} \cdot z_{k+1} + (1 - K_{stab}) \cdot x_k^{opt}, \quad (1)$$

где k – шаг фильтрации;

K_{stab} – коэффициент Калмана;

x_k^{opt} – приближение для истинного значения на шаге k ;

z_{k+1} – показание датчика на шаге $k+1$.

Коэффициента Калмана всегда стабилизируется к определенному значению, поэтому в формуле используется константа. Фильтр был реализован в программной среде PyCharm на языке Python с использованием библиотеки PyKalman.

3.1.3 Формирование данных по аварийным ситуациям

В виду отсутствия архивных данных по отказам печи на данном этапе разработок, встала необходимость сгенерировать аварийные данные. На основании технологического регламента и оценок экспертов АО «ТомскНИПИнефть» были определены наиболее вероятные аварии по печам ПТБ (таблица 4)

Таблица 4 – Данные по аварийным ситуациям

Аварийная ситуация	Показатели, по которым регистрируется
Неисправность регулятора температуры на линии подачи топлива	Регистрируется по неизменному расходу топлива при высокой/низкой температуре нагреваемой нефти на выходе
Прорыв змеевика в теплообменной камере	Регистрируется по снижению давления, высокому расходу нефти
Загрязнение (коксообразование) змеевика	Регистрируется по увеличению расхода топлива при увеличении температуры на входе или неизменном ее состоянии
Отсутствие или загрязнение смазки в подшипниках	Регистрируется по перегреванию подшипников вентилятора печи

Синим выделена аварийная ситуация, по которой осуществлялась генерация выходных данных аварийной работы оборудования в программной среде PyCharm на языке Python с помощью библиотек Pandas, TimeSynth.

Для решения задачи прогнозирования отказов используется обучающая выборка, которая формируется в два этапа. На первом этапе решается прямая задача, которая связана с созданием базы данных, которая описывает отказы в работе оборудования. С этой целью на полученных ранее выходных данных эталонной модели, имитируются проявления дефектов, связанных с изменением, например, температуры нефти на выходе. На втором этапе вычисляются отклонения, вызванные тем или иным дефектом от его эталонного состояния.

Согласно данным о рассогласовании формируется обучающая выборка

Параметры генерации выходных данных печи ПТБ представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры генерации входных данных

Параметр	Значение	
Тип распределения	Нормальное распределение	
Период	1 минута	
Параметр аварии тип 1	Нарастающий тренд F газа	
Параметр аварии тип 2	Нарастающий тренд F газа и Нарастающий тренд T нефти на выходе	
Математическое ожидание, дисперсия, длина масштаба процесса	T нефти на выходе	90, 0.3, 0.01
	F газа	1.2, 0.4, 0.01

3.2 Создание эталонной модели

3.2.1 Методы машинного обучения

Машинное обучение является частью науки о данных. Для тренировки модели используется набор данных, от которых зависят алгоритмы машинного обучения. Машинное обучение включает в себя множество методов, которые могут решать различные задачи. В машинном обучении выделяют три основные области [31]:

- Обучение с учителем – каждый обучающий пример (прецедент) представляет собой пару «объект, ответ».
- Обучение без учителя – в этом варианте ответов нет, поэтому необходимо искать зависимости между объектами.
- Обучение с подкреплением – в качестве объектов представлены пары «ситуация, принятое решение», а ответами здесь являются значения функционала качества, который характеризует правильность принятых решений.

В данной работе используются алгоритмы обучения с учителем, так как имеются конкретные вход-выходные данные. Основные задачи, которые решаются в данной работе методами машинного обучения:

Задача классификации. В этом случае множество допустимых ответов конечно. Они называются «метки классов». Класс – здесь это множество всех

объектов с этим значением метки. Суть задачи классификации заключается в том, что программа должна относить новые данные к некоторому классу. В данном проекте, классами являются типы отказов. Классов может быть много. Каждый объект может принадлежать одному или нескольким классам одновременно в определенной вероятностью.

Задача регрессии. Данная задача отличается тем, что возможным ответом является только действительное число или же числовой вектор. Суть задачи регрессии заключается в том, что программа должна рассчитывать значение некоторой непрерывной функции от признаков объектов. В данной работе, эталонная модель на основе выборки объектов с различными признаками рассчитывает выходные параметры печи.

Задача прогнозирования. В этой задаче отрезки временных рядов являются объектами. Для решения таких задач можно приспособить методы классификации и регрессии, для получения полноценной системы прогнозирования отказов.

3.2.2 Архитектура нейронной сети

Для использования методов машинного обучения, необходимо выбрать архитектуру нейронной сети. Структура искусственного нейрона зависит от выбранного типа (архитектуры) нейронной сети. Целью алгоритма обучения является решение задачи оптимизации весов нейронной сети таким образом, чтобы ошибка предсказаний на обучающей выборке была минимальной [31]. Ошибка определяется согласно установленной метрике качества. Таким образом, перед тем, как нейронная сеть может точно предсказывать результат на некоторых новых данных, её нужно обучить на обучающей выборке. Обучающие данные как правило состоят из пар вход-выход (в случае обучения с учителем). Выходы также называют метками или целевыми переменными

Фаза обучения начинается со случайной инициализации всех весов. Затем входные данные подаются на первый слой нейронной сети, в соответствии с типом нейрона вычисляются их выходы, к ним применяется функция активации

и результаты передаются дальше к другим слоям. Этот процесс называют прямым распространением. Так как веса заданы случайно, результат на выходе нейронной сети неправилен. Целью является прибыть в ту точку в пространстве весов, в котором нейронная сеть может предсказывать выходные значения с достаточной точностью. Алгоритм такой настройки весов нейронной сети называется обратным распространением ошибки. Однако существуют и другие алгоритмы, которые можно применить для оптимизации весов нейронной сети – наиболее известными среди них являются метод роя частиц и генетические алгоритмы. После прямого распространения на выходе получены некоторые результаты, которые в идеальном случае должны соответствовать целевым переменным. Однако, в начале обучения это не так, ведь веса были заданы случайно. По некоторой функции ошибок рассчитывается ошибка, которая «распространяется» по сети в обратном направлении. В качестве метода минимизации функции ошибок используется оптимизационный метод градиентного спуска [31]. Пример графика функции ошибок в пространстве весов можно увидеть на рисунке 6.

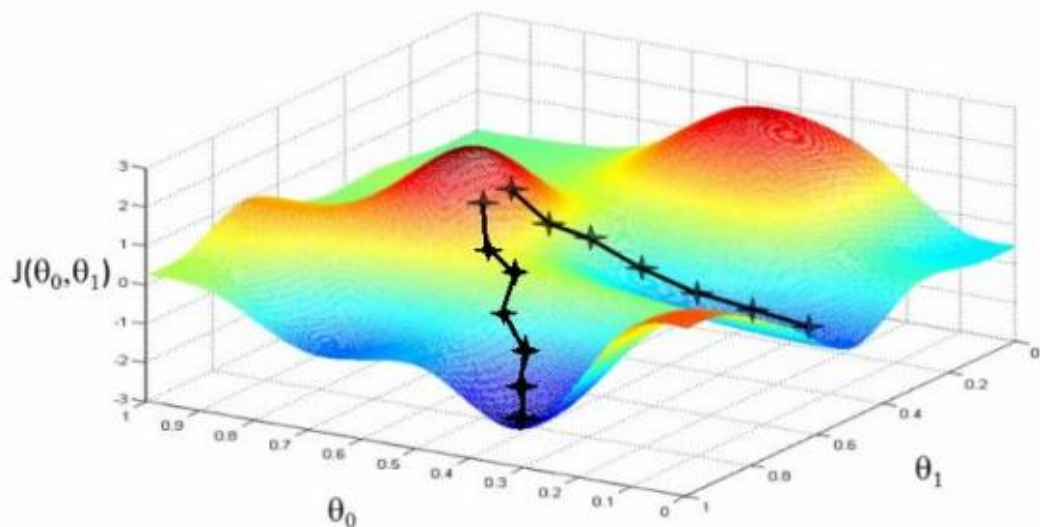


Рисунок 6 – Пример графика функции ошибок

Идея градиентного спуска состоит в совершении небольших шагов по градиенту пока не достигнут минимум (локальный или глобальный). Так как функция ошибок чаще всего имеет сложную поверхность, в результате обучения

достигается только локальный минимум. Таким образом, немного изменяя веса на каждой итерации обучения, мы движемся по градиенту. Ширина шага зависит от параметра, называемого коэффициентом скорости обучения (learning rate). Данный параметр не должен быть слишком большим, так как в таком случае обучение не сойдется к минимуму, но и не может быть слишком маленьким, так как в таком случае обучение займет слишком много времени. На практике чаще используются модификации классического градиентного спуска, например, Adam (Adaptive moment estimation). Данный оптимизационный алгоритм сочетает в себе идею накопления движением (импульс) и идею уменьшенного обновления весов для типичных признаков.

На рисунке 7 приведен пример работы различных оптимизационных алгоритмов, запущенных в одной и той же начальной точке [31].

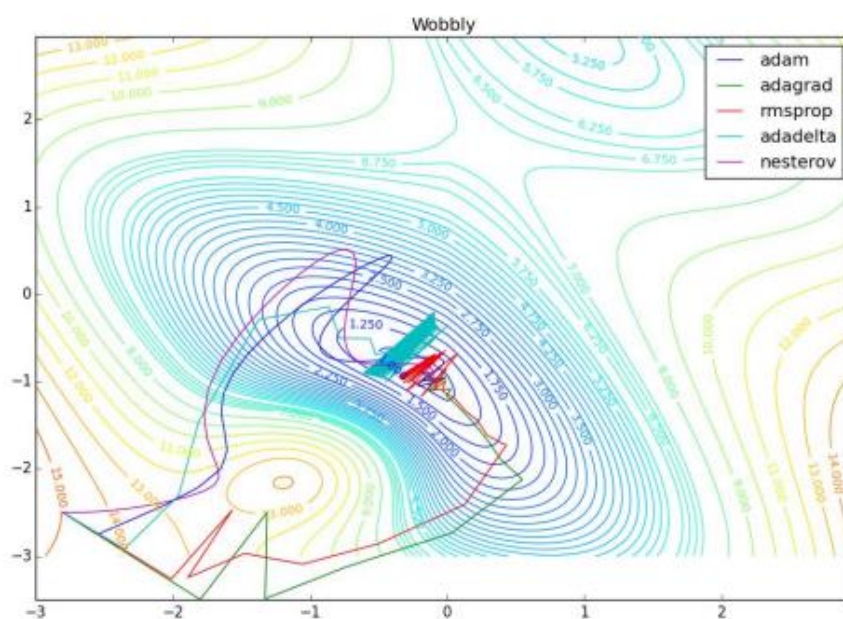


Рисунок 7 – Результат работы различных оптимизационных алгоритмов.

Существует множество различных архитектур нейронных сетей. Рассмотрим основные сети обучения с учителем [32]:

- Капсульная (в некоторых источниках капсульная) нейронная сеть – особенностью данного вида нейронных сетей является наличие так называемых капсул – промежуточных элементов между нейронами и слоями. Сеть заточена под распознавание изображений и не подходит для данной работы.

- Глубокая сверточная сеть – сеть, имеющая несколько сверточных слоев. Обычно такая сеть имеет несколько слоев прямого распространения. Сеть заточена на распознавание образов и не подходит для решаемых задач.

- Сеть прямого распространения – каждый нейрон соединен со всеми нейронами предыдущего и следующего слоев, активации выполняются последовательно от первого к последнему слою, без обратных связей, один скрытый слой. Сеть имеет простую структуру, а входные и выходные данные имеют заранее ограниченный размер. Поэтому можно применить ее для решения задачи классификации отказов.

- Рекуррентная нейронная сеть – вид нейронных сетей, где связи между элементами образуют направленную последовательность. Благодаря этому появляется возможность обрабатывать серии событий во времени или последовательные пространственные цепочки, а главное, важно не только содержание, но и порядок, в котором следует информация. Поэтому сеть подходит для решения задачи регрессии, а именно для построения эталонной модели.

3.2.3 Разработка нейронной сети эталонной модели

Распространённые сегодня системы мониторинга оборудования сравнивают показания датчиков с типовой моделью. В реальности, каждая установка имеет уникальные особенности и отличается параметрами функционирования. Даже оборудование одной и той же марки работает по-разному из-за различных внешних условий и особенностей работы системы, в которую она интегрируется. Поэтому был выбран подход, основанный на технологии эмпирических моделей, когда система создаётся на основе архивных данных о нормальной работе установки в различных режимах. Такую модель позволяет реализовать применение нейронных сетей. Преимущество такого подхода - модель описывает не абстрактную машину, а конкретное оборудование в конкретных условиях.

На рисунке 8 представлены этапы преобразования реальной печи в нейронную сеть.

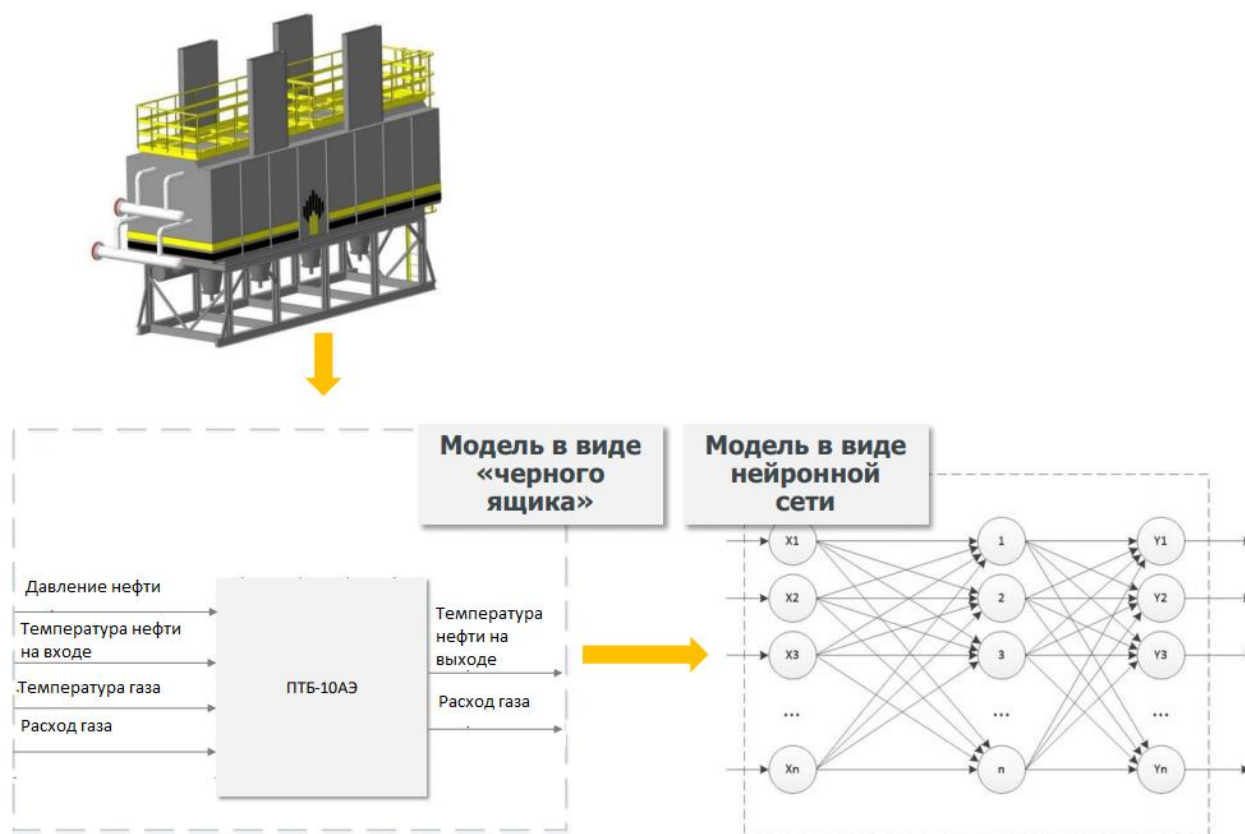


Рисунок 8 – Преобразование до нейронной сети.

Для решения задачи ранжирования используем рекуррентную сеть, а именно сеть долгой краткосрочной памяти (LSTM), так как она заточена для работы с временными рядами. Структура нейрона представлена на рисунке 9

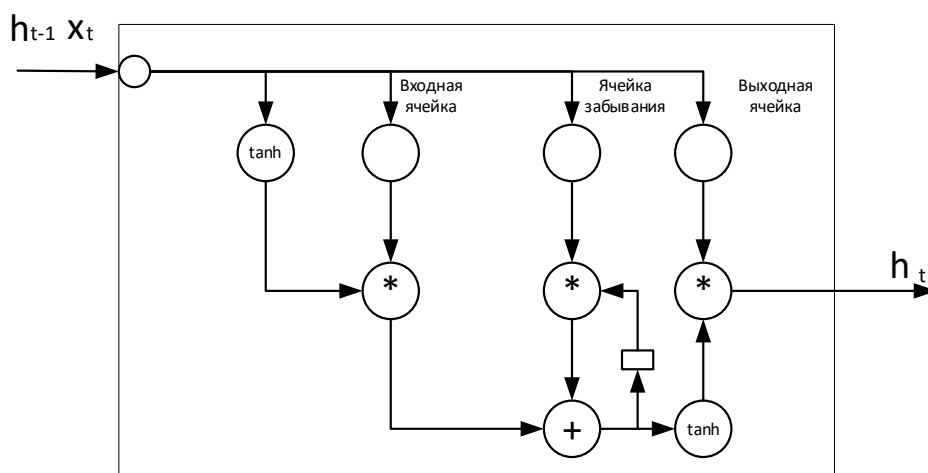


Рисунок 9 – Структура нейрона LSTM

Каждый нейрон LSTM-сети имеет ячейку памяти и три элемента: вход, выход и функцию забывания (forget gate). Входной фильтр (input gate) определяет, сколько информации с предыдущего слоя будет храниться в ячейке. Выходной слой берет задание на другом конце и определяет, сколько из следующего слоя узнает о состоянии этой ячейки [33].

Структура нейронной сети эталонной модели представлена на рисунке 10.

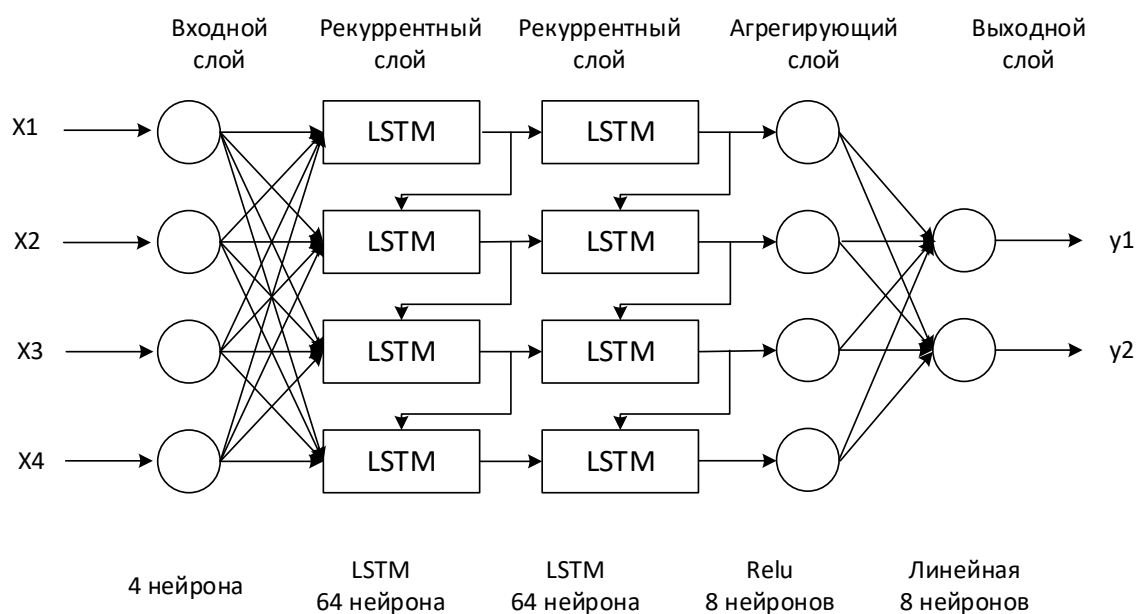


Рисунок 10 – Структура нейронной сети эталонной модели

3.2.4 Обучение нейронной сети эталонной модели

Выборка случайно разбивается на тестовую, валидационную и обучающую в пропорции 10 % : 10% : 80%.

Процесс обучения нейронной сети состоит из следующих шагов:

1. Нейронная сеть принимает входные данные матрицей, размерностью 4 параметра печи на фиксированное скользящее окно длиной 30;
2. Значения передаются на рекуррентный слой (64 нейрона);
3. Снова на рекуррентный слой (64 нейрона);
4. Результаты агрегируются слоем прямого распространения ошибки (функция активации Relu).

5. Результат поступает на выходной слой (2 нейрона) с линейной функцией активации.

6. Модель обучается до тех пор, пока за последние несколько эпох есть уменьшение минимальной среднеквадратической ошибки на валидационной выборке (проверка выполняется каждую эпоху обучения).

Функцией потерь выступает среднеквадратическая ошибка. Оптимизация проходит по алгоритму Adam.

В данном случае разработка ведется на Python, а используемыми библиотеками будут Tensorflow, Keras, Matplotlib, Numpy, Pandas, Sklearn.

3.2.5 Оценка качества нейронной сети эталонной модели

Целью этого шага является проверка эффективности прогнозирования разработанных моделей с использованием математической проверки. Рассчитаем среднеквадратичную ошибку C_k . Если значение близко к 0, модель является надежной и наоборот. Рассчитывается по формуле:

$$C_k = \sqrt{\sum_{i=0}^n \sigma_i^2}, \quad (2)$$

где σ – средняя ошибка одного выхода сети,

n – количество выходов сети.

$$\sigma = \frac{\sum_{i=0}^N (y_i - z_i)}{N}, \quad (3)$$

где y – выход нейронной сети,

z – истинное значение,

N – количество значений по одному выходу сети.

Средняя абсолютная ошибка в процентах. Данная оценка применяется для временных рядов, фактические значения которых значительно больше 1. Значение ошибки варьируется от 0 до бесконечности. Тем не менее, она должна быть близка к нулю для получения хороших результатов:

$$C_a = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \frac{|y_i - z_i|}{y_i} * 100\%. \quad (4)$$

Точность прогноза в процентах T можно оценить по формуле:

$$T = 100\% - C_a. \quad (5)$$

В виду большого количества данных, все расчеты производились автоматизировано, с помощью языка программирования Python, на платформе PyCharm, а используемыми библиотеками будут Tensorflow и Keras. Итоговые значения приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет точности системы

Параметр	Значение
Средняя квадратичная ошибка, ед	16
Средняя абсолютная ошибка, %	1.23%
Точность прогноза	98.77%

Прогнозирование временного ряда с периодом 1 минута проводилось на интервале с 00:00:00 до 72:00:00 (общее количество отсчетов $N \sim 4500$). Для данного прогноза значение $C_a = 1.23\%$

Можно сказать, что эталонная модель печи ПТБ-10 пригодна на 98.77%.

Восстановив выходные данные к физическим величинам, можно наглядно увидеть сопоставление данных с реальной системы данным эталонной модели. На рисунке 11 представлен график для расхода газа.

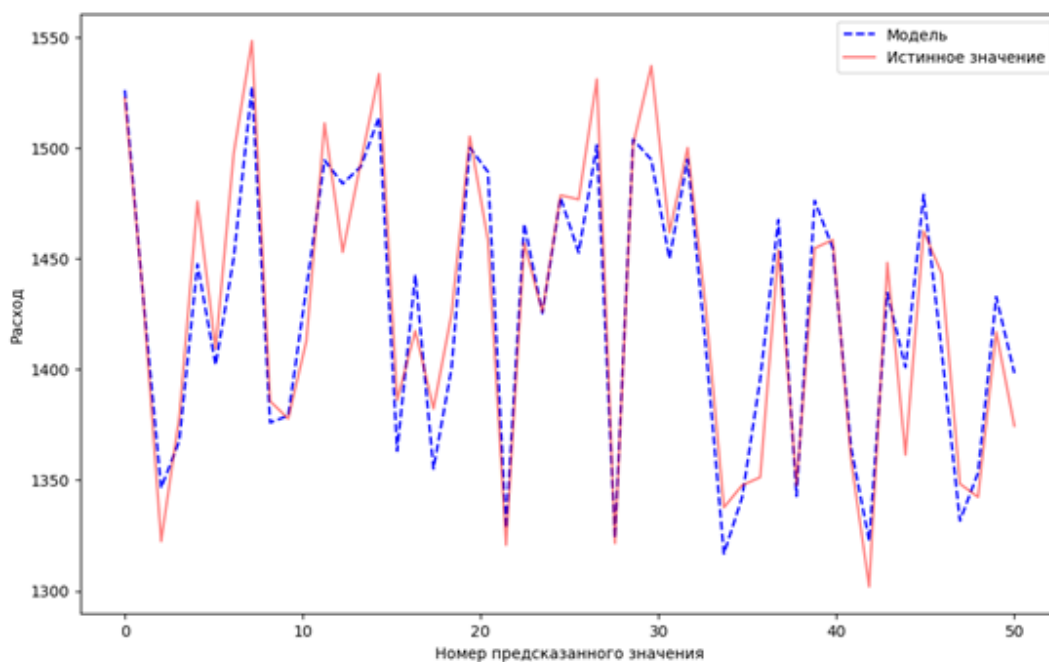


Рисунок 11 – График выходного параметра «расход газа»

3.3 Проектирование системы анализа отклонений

3.3.1 Формирование базы знаний

Изначально, до ввода Системы в эксплуатацию, базу знаний можно составлять на основании технологических регламентов обслуживания оборудования, и знаний экспертов.

На промысле база знаний аварийных событий дополняется персоналом - оператор указывает что именно произошло, система автоматически фиксирует значения параметров, которые были в момент аварийной ситуации.

3.3.2 Разработка структуры нейронной сети системы анализа отклонений

Для решения задачи определения вероятности одной неисправности используется многослойный перцептрон. Структурная схема нейронной сети представлена на рисунке 12.

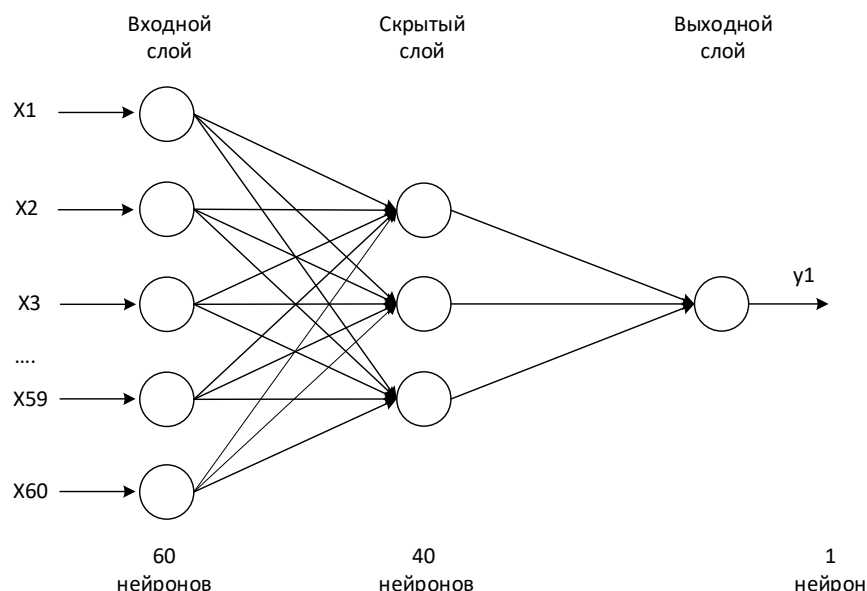


Рисунок 12 – Структурная схема нейронной сети системы анализа данных отказов оборудования

Входной слой состоит из 60 нейронов. Входные данные формируются путем раскладывания входной матрицы данных 2 на 30 (матрица формируется со скользящим окном по входным временным рядам) в входной вектор 1 на 60. Количество нейронов скрытого слоя принимается как $2/3$ от количества нейронов на входном слое, то есть 40. Выходной слой содержит 1 нейрон, с функцией активации сигмоида.

Сигмоида подходит для задач классификации. Она стремится привести значения к одной из сторон кривой. Это позволяет найти четкие границы при предсказании $[0,1]$, что можно интерпретировать, как вероятность события. Порог для определения отказа выбран равным 0.7.

3.3.3 Обучение нейронной сети системы анализа отклонений

Выборка для обучения собирается из:

- «хороших» данных – параметры, снятые с реализованной операторно-структурной модели печи [29].

– - «плохих» данных – параметры, сгенерированные по экспертным оценкам, для имитации аварийной работы печи ПТБ. Подробнее описано в п.3.1.3.

Выборка случайно разбивается на тестовую, валидационную и обучающую в пропорции 10 % : 10% : 80%.

Процесс обучения нейронной сети состоит из следующих шагов:

1. Вычисляется рассогласование выходных параметров эталонной модели и данных, имитирующих реальное оборудование;

2. Нейронная сеть принимает на входной слой (60 нейронов) рассогласование – матрицу размерностью – 2 параметра рассогласования на фиксированное скользящее окно длиной 30;

3. Значения передаются на скрытый слой (40 нейронов).

4. Результат поступает на выходной слой (1 нейрон) с сигмоидальной функцией активации, для определения вероятности отказа.

5. Модель обучается до тех пор, пока за последние несколько эпох есть уменьшение минимальной среднеквадратической ошибки на валидационной выборке (проверка выполняется каждую эпоху обучения).

Функцией потерь выступает среднеквадратическая ошибка. Оптимизация проходит по алгоритму обратного распространения ошибки.

В данном случае разработка ведется на Python, а используемыми библиотеками будут Tensorflow, Keras, Matplotlib, Numppy, Pandas, Sklearn.

3.3.4 Оценка качества нейронной сети системы анализа отклонений

Подготовив модель, необходимо адекватно оценить ее качество. Для этого введем следующие понятия:

TP (True Positive) — истинноположительный. Классификатор определил отказ.

FP (False Positive) — ложноположительный. Классификатор ложно определил отказ. Это так называемая ошибка первого рода.

FN (False Negative) — ложноотрицательный. Классификатор не определил отказ. Это так называемая ошибка второго рода. Обычно при создании модели желательно минимизировать ошибку второго, даже увеличив тем самым ошибку первого рода.

TN (True Negative) — истинноотрицательный. Классификатор не определил отказ и его не было.

В таблице 7 представлены результаты классификации отказа.

Таблица 7 – Параметры классификации отказа

Параметр	TP	FP	FN	TN
Количество	37	10	13	940

Кроме прямой оценки достоверности в процентах существуют такие метрики, как точность и полнота, основанные на вышеприведенных результатах бинарной классификации.

Рассчитаем метрику достоверности Мд.

$$M_d = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} = 0.977 \quad (6)$$

Точность (Т) показывает отношение верно прогнозируемых объектов класса ко всем объектам, которые мы определили как объекты класса.

$$T = \frac{TP}{TP+FP} = 0.790 \quad (7)$$

Полнота (П) показывает отношение верно прогнозируемых объектов класса ко всем представителям этого класса.

$$P = \frac{TP}{TP+FN} = 0.735 \quad (8)$$

Также существует F-мера — среднее гармонической точности и полноты. Помогает сравнить модели, используя одну числовую меру

$$F = 2 * \frac{T*P}{T+P} = 0.762 \quad (9)$$

Можно сделать вывод, что система анализа данных пригодна на 76.2%

Критерий	Значение
Достоверность	0.977
Точность	0.790

Полнота	0.735
Среднегармоническое точности и полноты	0.762

3.4 Анализ результатов

Анализ разработанной эталонной модели печи ПТБ-10 с помощью нейронных сетей показал среднеквадратичную ошибку 16 единиц, среднюю абсолютную ошибку 1.23% и пригодность модели равную 98.77%. Что является, несомненно, хорошим результатом. Далее рассогласование выходных параметров эталонной модели и данных, имитирующих реальное оборудование, были поданы на нейронную сеть анализа отказов. Система анализа отказов продемонстрировала пригодность равную 76.2%. Выборка для обучения сети анализа данных отказов была составлена по принципу 5% - данные с отказами, 95% данные нормальной работы. Можно сказать, что 3 из 4 отказов были обнаружены, а 1 из 100 ложно обнаружен. На самом деле, эти показатели не отражают реальную прогностическую силу системы, так как модели научены на данных, лишь имитирующих те или иные параметры и порог вероятности для классификации отказа выбран по наитию, однако, при наличии реальных данных с установки ПТБ-10, переобучить модели не составит труда.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ

Раздел посвящен оценке инновационного и коммерческого потенциала НТИ экспертной системы прогнозирования аварийных ситуаций на технологических объектах нефтегазодобычи.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Поскольку наша разрабатываемая система будет предназначена для коммерческих организаций, выделим основные однородные группы компаний. В таблице 8 представлена информация о сегментировании рынка.

Таблица 8 - Сегментирование компаний

	Специализация компании			
	Нефтегазодобыча	Производство оборудования нефтегазодобычи	Разработка программного обеспечения	Отдельные решения
Крупные				
Средние				
Мелкие				

Исходя из проведенного сегментирования можно сделать вывод о том, наиболее крупные компании обладают большими ресурсами, за счет чего они могут поглощать более мелких производителей. Необходимо ориентироваться

на производителей отдельных решений и предлагать им свои услуги, благодаря чему в перспективе будет проще попасть в крупную технологическую компанию.

4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, проведем SWOT-анализ, который состоит из определения сильных, слабых сторон проекта, его возможностей и угроз (таблица 9).

Таблица 9 - Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны НИР: С1 Универсальность системы С2 Низкая стоимость С3 Экономическая выгода С4 Эффективность системы	Слабые стороны НИР: Сл.1 Сложность тестирования на реальном объекте Сл.2 Затраты на интеграцию проекта Сл.3 Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров
Возможности: В1 Поддержка ОГ «Роснефть» В2 Развитие проекта на базе АО «ТомскНИПИнефть» В3 Появление новых, более совершенных технологий В4 Подготовка специалистов в данной отрасли	Развитие направления позволит в конечном итоге внедрить систему в нефтегазодобычу, сэкономить на обслуживании оборудования, предостеречь отказ оборудования и предотвратить ЧП.	Тестирование разрабатываемой системы в реальных условиях будет затруднительно в связи со сложностью доступа на объекты нефтегазодобычи, остановки оборудования, находящегося в непрерывном рабочем режиме
Угрозы: У1 Отсутствие спроса на новые технологии У2 Более совершенные аналоги конкурентов У3 Незаинтересованность в разработке У4 Сложность получения реальных исходных данным по отказам	Сложность получения реальных данных может затруднить дальнейшее развитие системы.	Отсутствие возможности тестирования системы на реальном объекте и сложность получение реальных данных сильно усложняют перспективы разработки

4.1.3 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения были выделены следующие критерии:

1. Технические критерии оценки ресурсоэффективности:

- достоверность – критерий, характеризующий соответствие предсказанного отказа реальному;
- быстродействие – критерий, характеризующий быстроту достижения заданного результата;
- точность – критерий, определяющий степень приближения реального предсказания к требуемому;
- устойчивость – критерий, характеризующий способность нормально функционировать;
- надежность – критерий, характеризующий способность сохранять в течение времени определенные значения параметров для реализации возложенных на нее функций;
- безопасность – критерий, характеризующий вероятность возникновения чрезвычайной ситуации при обслуживании;
- сложность реализации – критерий, определяющий сложность внедрения данного технического решения на новый объект.

2. Экономические критерии оценки ресурсоэффективности:

- конкурентноспособность;
- уровень проникновения на рынок;
- цена;
- предполагаемый срок эксплуатации;

–условия проникновения на рынок.

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты, представленной в таблице 10. В качестве конкурентных разработок выделим возможные варианты прогнозирования отказов: плановое обслуживание, работа оперативного персонала и специализированная система SaS Visual Statistics.

Таблица 10 - Оценочная карта

Критерии оценки	Вес	Баллы				Конкурентоспособность			
		Разработанная система предсказания	Плановое обслуживание	Оперативный персонал	SaaS Visual Statistics	Разработанная система предсказания	Плановое обслуживание	Оперативный персонал	SaaS Visual Statistics
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
Достоверность результата	0,1	4	2	2	4	0,4	0,3	0,2	0,4
Быстродействие	0,08	5	2	2	5	0,4	0,16	0,16	0,4
Точность	0,08	4	2	2	4	0,32	0,16	0,16	0,32
Устойчивость	0,05	4	2	0	4	0,2	0,1	0	0,2
Надежность	0,1	4	3	2	4	0,2	0,3	0,2	0,4
Безопасность	0,05	4	4	4	4	0,2	0,25	0,25	0,2
Простота реализации	0,08	2	3	3	1	0,16	0,4	0,4	0,1
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности									
Конкурентоспособность	0,05	3	2	2	5	0,15	0,1	0,1	0,25
Уровень проникновения на рынок	0,05	1	5	5	3	0,05	0,25	0,25	0,1
Цена обслуживания	0,2	5	2	2	5	1	0,4	0,4	1
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	3	3	5	0,5	0,3	0,3	0,5
Условия проникновения на рынок	0,06	2	5	5	5	0,12	0,3	0,3	0,3
Итого	1	43	35	32	49	3,7	3,02	2,7	4,2

Опираясь на полученные результаты, можно сделать вывод, что разрабатываемая система прогнозирования на текущий момент слабо конкурирует с ведущим производителем специализированного ПО, при этом является хорошей альтернативной используемым на практике методам.

4.2 Организация и планирование работ

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эту информацию необходимо свести в таблицу (таблица 11).

Таблица 11 - Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Подбор и изучение материалов по теме	03.09.2019-07.10.2019	Список изученной литературы
2	Проведение патентных исследований	08.10.2019-21.10.2019	Список изученных патентов
3	Выбор направления исследования	22.10.2019-31.10.2019	Определение, целей и задач исследования, составление задания
4	Проведение теоретических расчетов и обоснований	01.11.2019-11.11.2019	Обоснование целесообразности проведения исследования
5	Разработка концепции создания эталонной модели прогнозирования отказов	12.11.2019-02.12.2019	Разработанные положения концепции системы управления
6	Работа с вход-выходными данными	03.12.2019-16.12.2019	Разработанная структурная схема
7	Разработка имитационной модели печи	17.12.2019-20.01.2020	Полученные результаты моделирования разработанной системы
8	Тестирование полученных результатов	21.01.2020-03.03.2020	Полученные результаты тестирования
9	Анализ полученных данных	04.03.2020-31.03.2020	Анализ результатов исследования
10	Составление отчета о проделанной работе	01.04.2020-28.04.2020	Отчет о проделанной работе

4.2.1 Организация и планирование НИР

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность

исполнителей. Рабочая группа, выполняющая научные исследования, состоит из двух человек: научного руководителя и непосредственного исполнителя.

В таблице 12 представлен план проекта.

Таблица 12 - План проекта

Основные этапы	№ этапа	Содержание работ	Должность исполнителя	Загрузка
Выбор направления исследования	1	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель Исполнитель	30% 100%
	2	Проведение патентных исследований	Руководитель Исполнитель	50% 100%
	3	Выбор направления исследования	Руководитель Исполнитель	20% 100%
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Исполнитель	100%
	5	Разработка концепции создания эталонной модели прогнозирования отказов	Исполнитель	100%
Разработка технической документации и практические исследования	6	Работа с вход-выходными данными	Исполнитель	100%
	7	Разработка имитационной модели печи	Исполнитель	100%
	8	Тестирование полученных результатов	Исполнитель	100%
Оформление результатов исследований	9	Анализ полученных данных	Руководитель, Исполнитель	100% 40%
	10	Составление отчета о проделанной работе	Исполнитель	100%

4.2.2 Определение продолжительности этапов работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение

трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого значения трудоемкости $t_{\text{ожи}}$ используется следующая формула:

$$t_{\text{ожи}} = \frac{3t_{\text{min } i} + 2t_{\text{max } i}}{5} , \quad (10)$$

где $t_{\text{ожи}}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{min } i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{max } i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ожи } i}}{\text{Ч}_i} , \quad (11)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{\text{ожи } i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

Ч_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} , \quad (12)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (13)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

В году 365 дней; из них 118 выходных и праздничных дней. Коэффициент календарности рассчитаем следующим образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48, \quad (14)$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа. Результаты расчетов сведем в таблицу 13. На рисунке 13 продемонстрированы данные для построения диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта представлена на рисунке 14

Таблица 13 - Трудоемкость проекта

Название работы	Трудоёмкость работ						Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_k	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож\ i}$, чел-дни			НР	И	НР	И
	НР	И	НР	И	НР	И					
Подбор и изучение материалов по теме	2	4	3	5	2.6	4.6	НР, И	2.6	4.6	4	7
Проведение патентных исследований	-	8	-	10	-	12.4	И	-	9.2	–	14
Выбор направления исследования	1	7	2	9	1.6	8.8	НР, И	1.6	8.2	3	12
Проведение теоретических расчетов и обоснований	–	7	–	9	–	8.8	И	–	8.2	–	12
Разработка концепции создания эталонной модели прогнозирования отказов	–	8	–	10	–	16	И	–	9.2	–	14
Работа с вход-выходными данными	-	8	-	10	-	11.8	И	-	9.2	–	14
Разработка имитационной модели печи	–	15	–	20	–	31.8	И	–	18	–	27
Тестирование полученных результатов	–	8	–	10	–	11.2	И	–	9.2	–	14
Анализ полученных данных	5	8	7	10	6.2	24.2	НР, И	6.2	9.2	–	14
Составление отчета о проделанной работе	–	10	–	15	–	24.2	И	–	13	10	20
Итого								9	98	17	148

Подбор и изучение материалов по теме	03.09.19	07.10.19
Проведение патентных исследований	08.10.19	21.10.19
Выбор направления исследований	22.10.19	31.10.19
Проведение теоретических расчетов и обос	01.11.19	11.11.19
Разработка концепции создания эталонной	12.11.19	02.12.19
Работа с вход-выходными данными	03.12.19	16.12.19
Разработка имитационной модели печи	17.12.19	20.01.20
Тестирование полученных результатов	21.01.20	03.03.20
Анализ полученных данных	04.03.20	31.03.20
Составление отчета о проделанной работе	01.04.20	28.04.20

Рисунок 13 - Данные к диаграмме Ганта

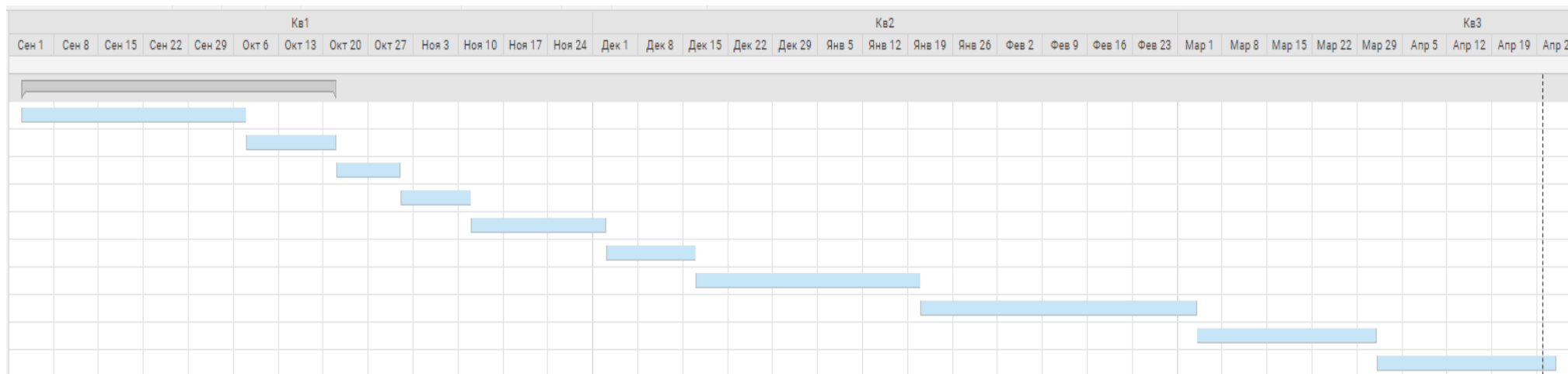


Рисунок 14 - Диаграмма Ганта

4.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

4.3.1 Расчет затрат на электроэнергию

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. В нашем случае мы будем учитывать только затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{эл} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot Ц_э \quad (15)$$

где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_э$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $Ц_э = 6,59$ руб./кВт·час (с НДС). Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных для инженера (ТРД) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{об} = T_{РД} \cdot K_t \quad (16)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{РД}$, определяется исполнителем самостоятельно.

В ряде случаев возможно определение $t_{об}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования. Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном} \cdot K_c \quad (17)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_c \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности.

Для технологического оборудования малой мощности $K_c = 1$.

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 14.

Таблица 14 - Расчет затрат на сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Наименование	Время работы оборудования, $t_{об}$, час	Потребляемая мощность, $P_{об}$, кВт	Затраты на электроэнергию, $C_{эл}$, руб
Электронергия	1500	0,4	3954,00
Итого:			3954

4.3.2 Расчет затрат на материалы

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ. Для выполнения работ по данной тематике необходим персональный компьютер и установленное на нем лицензионное программное обеспечение Matlab. Список оборудования приведен в таблице 15.

Таблица 15 - Специальное оборудование для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Коэффициент использования	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
2	Лицензия ПО Matlab (1 год)	1	43800	0.3	13140
3	Канцелярия	1	1000	1	1000
Итого:					14140

4.3.3 Расчет основной и дополнительной заработной платы персонала

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из

трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается районный коэффициент 30%, премия, дополнительная зарплата, выплачиваемые ежемесячно из фонда заработной платы.

Среднедневная тарифная заработная плата ($Z_{\text{дн}}$) рассчитывается по формуле:

- для 6-дневной рабочей недели:

$$Z_{\text{дн}} = Z_{\text{оклад}} / 25.083 \quad (18)$$

- для 5-дневной рабочей недели

$$Z_{\text{дн}} = Z_{\text{оклад}} / 20.75 \quad (19)$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

$Z_{\text{оклад}}$ – месячный оклад работника, руб.

Фонд оплаты труда ($Z_{\text{фонд}}$) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{фонд}} = Z_{\text{дн}} * T_p * k_{\text{и}} \quad (20)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$k_{\text{и}}$ – интегральный коэффициент, равный 1,699;

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 16.

Таблица 16 - Основная заработная плата исполнителей темы

Исполнитель	Оклад (руб.)	Среднедневная заработная плата за день (руб./дн.)	Трудоемкость(дн.)	Основная зарплата (руб.)
Научный руководитель	43763.20	1744.73	17	50393
Исполнитель	12335,70	491.76	148	123656
Итого:				174049

4.3.4 Расчет затрат на социальный налог

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} * З_{осн} \quad (21)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2017 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. Расчет отчислений во внебюджетные фонды представлен в таблице 17.

Таблица 17 - Отчисления во внебюджетные фонды

Основная	174049
Коэффициент	0,3
Итого	52215

4.3.5 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов

Для того, чтобы представить свои разработки широкому кругу лиц, запланирована командировка в г. Уфу на 13 региональную научно-техническую конференцию молодых специалистов «Проблемы разведки, разработки и обустройства месторождений нефти и газа». На конференцию планируется отправить только одного исполнителя. Расчет расходов представлен в таблице 18.

Таблица 18 - Научные и производственные командировки

Статья расходов	Кол-во	Цена за единицу руб	Сумма
ЖД билеты Томск - Уфа - Томск	1	13700	13700
Такси	2	300	600
Суточные	3	800	2400
Проживание	3	3500	10500
Итого:			27200

4.3.6 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула:

$$C_{AM} = \frac{N_A * Ц_{ОБ} * t_{рф} * n}{F_D}, \quad (22)$$

где N_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$Ц_{ОБ}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году.

За период 2019 – 2020 гг. рабочих дней было – 247. Срок амортизации примем 2.5 года.

$$C_{ам} = \frac{(0,4 * 39500 * 1500 * 1)}{247 * 8} = 11993,92 \text{ руб}$$

Итого начислено амортизации за 2 ПК – 23987,85 руб

4.3.7 Расчет прочих расходов

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} \quad (23)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов примем в размере 10%.

Расчет накладных расходов представлен в таблице 19.

Таблица 19 - Накладные расходы

Статья расходов	Сумма
Амортизация оборудования	23988
Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	3954
Специальное оборудование для научных работ	14140
Основная зарплата	174049
Отчисления во вне- бюджетные фонды	52215
Научные и производственные командировки	27200
Коэффициент на- кладных расходов	0,1
Накладные расходы	29555

4.3.8 Расчет общей себестоимости разработки

Рассчитанная величина затрат НИР является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку НТП. Определение бюджета затрат на НИР приведен в таблице 20.

Таблица 20 - Формирование бюджета затрат НИР

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Сырье, материалы, покупные изделия	3954	Пункт 3.1
2. Специальное оборудование для научных работ	14140	Пункт 3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	174049	Пункт 3.3
5. Отчисления во внебюджетные фонды	52215	Пункт 3.4
6. Научные и производственные командировки	27200	Пункт 3.5
7. Амортизация оборудования	11994	Пункт 3.6
8. Накладные расходы	29555	10 % от суммы Пунктов 3.1-3.6
9. Бюджет затрат НИИ	313107	Сумма пунктов 3.1-3.8

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 313107$ руб

4.3.9 Расчет прибыли, НДС, цена разработки

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Так как система все еще находится в разработке и ожидает этапа тестирования на реальном оборудовании, данных об окупаемости на данный момент нет. Поэтому примем, что прибыль в размере 20 % от полной себестоимости проекта, то есть 62621.4.

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это

$$\text{НДС} = (313107 + 62621) * 0,2 = 75728.6 \text{ руб} \quad (23)$$

Цена разработки НИР равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае

$$\text{ЦНИР(КР)} = 313107 + 62621.4 + 75728.6 = 450874 \text{ руб.} \quad (24)$$

4.3.10 Оценка экономической эффективности исследования

Рассчитывать экономический эффект программного обеспечения экспертной системы прогнозирования отказов не совсем корректно, так как ПО является лишь частью системы. В таблице 21 приведена приблизительная оценка затрат на разработку и интеграцию системы специалистов АО «ТомскНИПИнефть»

Таблица 21 - Оценка затрат

Затраты на разработку, интеграцию системы	Стоимость, тыс. руб.
Покупка серверного оборудования	150,0
Покупка коммуникационного оборудования	50,0
Разработка Базы знаний	1220,0
Пуско-наладочные работы	1000,0
Обслуживание системы	529,9
Суммарные затраты, тыс. руб.	2949.9

Экономический эффект системы достигается за счет:

- повышения безопасности, исключения техногенных аварий и потерь оборудования по этой причине;
- увеличения межремонтного периода эксплуатации технологических комплексов в связи с исключением
- снижения простоев (временного снижения мощности) из-за внезапных отказов оборудования;
- сокращения сроков проведения плановых остановочных ремонтов в связи со своевременной и целенаправленной подготовкой к его проведению;
- снижения эксплуатационных затрат и потерь путём исключения неэффективных внеплановых, плановопредупредительных ремонтов и перехода к эксплуатации оборудования по фактическому техническому состоянию в реальном времени.

Расчет планируемого экономического эффекта производится на основе накопленного опыта, базовых методик, данных, полученных в ходе проведения обследования производства. Необходимо отметить, что в ходе сбора и анализа данных при обследовании нефтегазодобывающих производств во многих случаях приходится сталкиваться с отсутствием соответствующего учета на предприятии, а значит и с отсутствием многих необходимых данных. Поэтому при анализе собранной информации широко используется метод экспертных оценок, а также расчетный метод определения расходов, затрат и потерь, опирающийся на действующие нормативы. В частности, коэффициент ущерба при аварии, доля внеплановых ремонтов и ряд других показателей являются усредненной экспертной оценкой, отражаемой в справках о базовых технико-экономических показателях эксплуатации оборудования технологических комплексов.

Количественная оценка экономического эффекта всей системы предполагает проведение специального исследования на конкретном объекте.

4.4.2 Определение срока окупаемости инвестиций

Стоимостная оценка результата по ряду причин недоступна:

- система может быть применима на любых объектах нефтегазодобычи, в следствие чего расчет эффективности должен быть произведен для конкретного месторождения;
- фатально оборудование отказывает не часто, для каждого месторождения эффект будет различным;
- стоимость устранения последствий чрезвычайной ситуации, вызванной отказом оборудования, можно оценить лишь после того, как она случится.

Основной эффект от внедрения всей системы на объектах ПАО «НК Роснефть» состоит в экономии средств на устранение последствий отказов оборудования и может быть оценен на протяжении жизненного цикла системы.

В пример можно привести пожар на установке ГК-3 нефтеперерабатывающего производства АО «Ангарская нефтехимическая компания» к которому привел отказ оборудования. Устранение последствий пожара заняло 45 дней, убыток составил порядка 95 млн. руб.

Количественная оценка окупаемости всей системы предполагает проведение специального исследования на конкретном объекте.

5 Социальная ответственность

В последние несколько лет обслуживание промышленных систем в их рабочих режимах является одной из основных стратегических проблем, стоящих перед нефтегазодобывающей отраслью, от проектирования машины до ее эксплуатации. Таким образом прогнозирование отказов обеспечивает бесперебойную и непрерывную работу динамических систем, что является актуальной проблемой на данный момент.

В процессе трудовой деятельности на специалиста, разрабатывающего систему прогнозирования отказов, могут оказывать воздействие различного рода производственные факторы. Для их предупреждения и сохранения здоровья работника предусматривается ряд мер по обеспечению безопасности трудовой деятельности.

В магистерской диссертации выполняется проектирование экспертной системы прогнозирования аварийных ситуаций. Применяться разработанная система будет на объектах нефтегазодобычи.

Потенциальными пользователями будут компании, разрабатывающие оборудование для нефтегазодобычи, SCADA-системы, компании добычи ресурсов. Данная система приведет к снижению количества чрезвычайных ситуаций в ходе непрерывной работы по добыче нефти и газа. В ходе выполнения работы были проведены теоретические исследования, а также осуществлено проектирование экспертной системы прогнозирования аварийных ситуаций.

Основными инструментами для выполнения поставленных задач являются средства вычислительной техники – персональный компьютер, устанавливаемое программное обеспечение и периферийные устройства. При разработке системы на здоровье человека влияют определенные негативные факторы, например, нагрузка на зрение, вредные шумы и излучения, неправильная поза за компьютером, а также психологическая нагрузка.

Целью данного раздела магистерской диссертации является анализ опасных и вредных факторов труда, анализ степени их влияния на человека и выявление потенциальных мер по нивелированию их воздействия на инженера. Кроме этого, были рассмотрены вопросы охраны окружающей среды, пожарной безопасности, а также организационно-правовые вопросы.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Во время продолжительной работы за компьютером инженер длительный период пребывает за компьютером, сидя у монитора, в одной позе. Данный фактор наряду с излучением, нагрузкой на зрение и т.п. наносит неблагоприятное воздействие на человека. Поэтому при работе за компьютером следует в обязательном порядке делать перерывы.

Трудовой кодекс РФ данный вопрос напрямую не регулирует, но при этом работодатель обязан предоставлять работникам перерывы. Согласно статье 107 Трудового кодекса РФ [34] одним из видов отдыха в процессе рабочего дня являются перерывы. На основании статьи 109 ТК РФ работники в течение рабочего дня имеют право на отдых, что вызвано спецификой условий работы. Работодатель обязан предусматривать порядок предоставления перерывов в правилах внутреннего распорядка.

Статья 27 Закона о санитарно-эпидемиологическом благополучии от 30 марта 1999 года [30] регулирует вопросы влияния различных устройств (в том числе и ЭВМ) на здоровье работника.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 (утверждены 30 мая 2003 года) [36] регулируют порядок организации рабочего процесса для лиц, труд которых связан с компьютерной техникой. Согласно приложению 7 к данному документу, в зависимости от степени нагрузки и времени работ, время отдыха должно составлять от 50 до 140 минут в течение рабочего дня. При этом

данные перерывы не должны увеличивать продолжительность рабочего дня. За нарушение данных правил предусмотрена административная ответственность.

В статье 22 Трудового кодекса РФ [37] указано, что работодатель обязан обеспечивать безопасность работника и соответствие условий труда всем необходимым требованиям.

Типовая инструкция ТОИ Р-45-084-01 (утверждена 2 февраля 2001 года) более детально регламентирует данный вопрос. Согласно данному документу, без перерыва работник может находиться за монитором компьютера не более двух часов. Перерывы выполняются с целью снижения усталости глаз и уменьшения их напряжения.

В зависимости от вида и времени осуществляемой работы инструкция устанавливает разделение путем классификации по группам:

- А – чтение информации с монитора по сделанному запросу;
- Б – печатание на клавиатуре с целью ввода информации;
- В — творческая работа.

Кроме этого, предусмотрено деление на категории сложности работ:

– для группы А (не свыше 60000 считываемых знаков за смену) перерыв составляет 15 минут, предоставляется два раза – через два часа после начала работы и перерыва на обед;

– для группы Б (не свыше 40000 напечатанных знаков за смену) перерыв составляет 10 минут через каждый трудовой час;

– для группы В (не свыше шести 6 часов за смену) перерыв составляет 15 минут через каждый трудовой час.

Если смена длится двенадцать часов, время регламентированных перерывов при работе на компьютере за восемь часов работы предоставляется в вышеуказанном порядке, а за оставшиеся четыре часа – пятнадцать минут за каждый час (вне зависимости от категории).

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

К вредным психофизиологическим факторам можно отнести:

- умственное перенапряжение;
- статические физические нагрузки;
- монотонность труда;
- эмоциональные перегрузки.

Для минимизации влияния данных факторов на производительность и здоровье работника необходимо корректно организовать работу с ЭВМ в зависимости от категории и вида трудовой деятельности. Для предотвращения утомления, снижения влияния гипокинезии и гиподинамии целесообразно выполнять специализированные комплексы упражнений.

Также для минимизации вредных психофизиологических факторов следует организовать рабочие места согласно требованиям и нормам. Организация рабочих мест для пользователей ЭВМ осуществляется в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [36]:

- расстояние между рабочими столами с видеомониторами должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м;

- экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии от 600 до 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов;

- конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение используемого оборудования с учетом характера выполняемой работы;

- поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения от 0,5 до 0,7;

- конструкция рабочего стула должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПК, позволять изменять позу с

целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины; тип рабочего стула выбирается с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПК.

5.2 Профессиональная социальная безопасность

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования

Одними из самых серьезных проблем являются:

1) потребление электроэнергии. С увеличением количества компьютерных систем, внедряемых в производственную сферу, увеличится и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей электростанций и их количества. И то, и другое не обходится без нарушения экологической обстановки.

Рост энергопотребления приводит к таким экологическим нарушениям, как: изменение климата — накопление углекислого газа в атмосфере Земли (парниковый эффект); загрязнение воздушного бассейна другими вредными и ядовитыми веществами; загрязнение водного бассейна Земли; опасность аварий в ядерных реакторах, проблема обезвреживания и утилизации ядерных отходов; изменение ландшафта Земли.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением. В современных компьютерах, повсеместно используются режимы с пониженным потреблением электроэнергии при длительном простое. Стоит также отметить, что для снижения вреда, наносимого окружающей среде при производстве электроэнергии, необходимо искать принципиально новые виды производства электроэнергии.

2) потребление и сток воды. Нормы воды на хозяйственно-питьевые нужды составляют 25 литров в смену на человека. Сети хозяйственно-

питьевого водоснабжения необходимо отделять от сетей, подающих не питьевую воду, согласно СанПиН 2.1.2.1002-00 [38].

Также следует предусматривать отдельные системы канализации: бытовую; производственных незагрязненных сточных вод, объединяемых, как правило, с дождевой; производственных сточных вод, загрязненных вредными веществами.

Запрещается спуск хозяйственно-фекальных и производственных сточных в поглощающие колодцы во избежание загрязнения водоносных слоев почвы. Спуск незагрязненных производственных сточных вод допускается в ливневую канализацию, предназначенную для стока атмосферных осадков. Отвод сточных вод от душей и умывальников производится в сеть хозяйственно-фекальной или производственной канализации.

5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

Основная работа при проведении исследования проводилась за компьютером. Данный вид работы связан с воздействием на человека вредных и опасных факторов труда.

Классификация вредных и опасных факторов проведена в соответствии с СанПиН 2.2.2.1332-03 [39]. Возможные опасные и вредные факторы при выполнении магистерской диссертации на разных этапах работ отражены в таблице 22.

Таблица 22 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
1.Отклонение микроклимата	+	+	+	Требования к микроклимату, шуму, электромагнитному излучению: СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 [1]. Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. СНиП 23-05-95 [2].
2. Превышение уровня шума	+	+		
3.Недостаток естественного света	+			
4. Электромагнитное и электростатическое излучения	+	+	+	

Поскольку современные жидкокристаллические мониторы отвечают всем нормам по ионизирующему излучению, оно в данной работе не рассматривается.

5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

5.2.3.1 Микроклимат

Производственный микроклимат отражает состояние внутренней воздушной среды помещения рабочей зоны (температуры, влажности и скорости движения воздуха) и температуры поверхностей, находящихся в помещении. В производственном помещении должны поддерживаться оптимальные параметры микроклимата, поддерживающие нормальное тепловое состояние организма и не вызывающие отклонений здоровья. В соответствие с СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [40] и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным

машинам и организации работы» [36] были выделены следующие требования к воздушной среде на производстве:

1. Для помещений, где основная работа выполняется на ПЭВМ с категорией работ 1а (работы, которые проводятся сидя и не требуют физического напряжения), необходимо исполнение оптимальных норм микроклимата приведенные в таблице 23.

Таблица 23 - Оптимальные параметры воздушной среды для помещений с ПЭВМ

Период года	Категория работ	Температура воздуха, гр. С не более	Относительная влажность воздуха	Скорость движения воздуха
Холодный	Легкая – 1а	22-24	40-60	0,1
Теплый	Легкая – 1а	22-25	40-60	0,1

2. Для поддержания нормальной влажности воздуха на рабочих местах с ПЭВМ необходимо применять увлажнители воздуха, ежедневно заправляемые прокипяченной питьевой или дистиллированной водой.

3. Перед началом помещения с ПЭВМ должны быть проветрены для улучшения состава воздуха, в том числе и аэроионный режим.

4. В воздухе помещений с ПЭВМ уровень положительных и отрицательных аэроионов должен соответствовать уровню, приведенному в таблице 24

Таблица 24 - Степень ионизации воздуха помещений при работе с ПЭВМ

Уровни	Число ионов в 1 см куб. воздуха	
	n+	n-
Минимально необходимые	400	600
Оптимальные	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимые	50000	50000

Выпускная квалификационная работа велась в офисном помещении ЩФ «Томск НИПИнефть». Для поддержания нормальной температуры воздуха в помещении есть кондиционер, который поддерживает температуру воздуха 22 градуса. Во время перерывов на отдых, производится

проветривание помещения. Помещение соответствует нормам температуры, влажность оценить не представляется возможным.

5.2.3.2 Превышение уровня шума

Шум и вибрация – это механические колебания, распространяющиеся в твердой и газообразной среде. Отличаются между собой шум и вибрация частотой колебаний [41]. Шум негативно влияет на здоровье работающих людей. Вследствие длительного воздействия шума возможен ряд функциональных изменений со стороны различных внутренних органов и систем:

- ухудшается слух и зрение
- развивается тугоухость
- снижается работоспособность
- ухудшается координация и внимание
- возникают расстройства нервной системы

Все это, в свою очередь, может привести к несчастному случаю на предприятии.

Основными источниками шума в производственном помещении является офисное оборудование (ПЭВМ, периферийные устройства, средства вентиляции и др.), источником шума, приходящего извне помещения могут быть соседнее помещение, улица, коридор.

В соответствие с СН 2.2.42.1.8.562-96 [42] и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [36] были выделены следующие требования к шуму на рабочем месте при работе с ПК:

1. Уровень шума на рабочем месте с ПЭВМ при выполнении основной работы не должен превышать 50 дБА.

2. При выполнении лабораторных, аналитических или измерительных работ уровень шума не должен превышать 60 дБА.

Характеристикой шума выступает уровень звукового давления в децибелах в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц, определяемые по формуле:

$$L=20\times\lg(P/P_0), \quad (25)$$

где P – среднеквадратичная величина звукового давления, Па;

$P_0 = 2 \times 10^{-5}$ Па – исходное значение звукового давления в воздухе.

Шум от работающего компьютера создаёт $P = 0,05$ Па. Таким образом, $L = 68$ дБА, что не превышает требованию ГОСТ 12.1.003-2014 в 75 дБА [43].

Источником шума на рабочем месте в офисном помещении в данном случае выступают персональные компьютеры, система вентиляции, оборудование печати и сканирования, расположенные в коридоре. Рассчитать уровень шума не представляется возможным, так как проблематично оценить звуковое давление, ко всему прочему шум в офисе носит переменный характер.

Для снижения уровня шума применяют следующие методы:

- уменьшение уровня звука в источнике
- звукопоглощение (например, облицовка помещения)
- звукоизоляция (например, обшивка внутреннего помещения)
- рациональное расположение и применение оборудования
- применение средств индивидуальной защиты (например, «беруши»).

Работа проводится в лаборатории, уровень шума которой не превышает установленной нормы для выполнения основной аналитической работы в 65 дБА. Рабочее пространство соответствует требованиям к уровню шума.

5.2.3.3 Отсутствие или недостаток естественного света

Недостаточная освещенность рабочей зоны оказывает негативное влияние на зрительную систему человека. Происходит снижение концентрации внимания, усталость центральной нервной системы, что приводит к снижению производительности труда.

Уровень освещения на поверхности рабочего стола в зоне размещения документа, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [36], должен быть в диапазоне от 300 до 500 лк. Уровень освещенности экрана не должен превышать 300 лк. Яркость осветительных приборов, находящихся в поле зрения, не должна превышать 200 кд/м².

Приведем расчет искусственного освещения для офисного помещения АО «ТомскНИПИнефть», размерами: длина $A = 10$ м, ширина $B = 6$ м, высота $H = 3,5$ м, количество ламп $N = 8$ светильников по 5 ламп – 40 шт. Определим расчетную высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью (h) по формуле:

$$h = H - h_p - h_c, \quad (26)$$

где H – высота потолка в помещении, м;

h_p – расстояние от пола до рабочей поверхности стола, м;

h_c – расстояние от потолка до светильника, м.

Вычислим расчетную высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью по формуле 2 для компьютерной аудитории:

$$h = 3,5 - 0,8 - 0,05 = 2,65 \text{ м}$$

Индекс помещения определяется по формуле (27):

$$i = \frac{S}{h(A+B)}, \quad (27)$$

где S – площадь помещения – $A*B$, м² ;

A – длина комнаты, м;

B – ширина комнаты, м;

h – высота подвеса светильников, м.

Индекс помещения для компьютерной аудитории кафедры:

$$i = \frac{6 * 10}{2,65 * (6 + 10)} = 1,41$$

Исходя из того, что потолок в помещении чистый белый, а также побеленные стены, 3 окна. Согласно таблице 25 [45] примем коэффициенты отражения от стен $\rho_{ст}=50\%$ и потолка $\rho_{п}=70\%$

Таблица 25 – Значение коэффициентов отражения потолка и стен

Состояние потолка	$\rho_{п}, \%$	Состояние стен	$\rho_{ст}, \%$
Свежепобеленный	70	Свежепобеленные с окнами, закрытыми шторами	70
Побеленный, в сырых помещениях	50	Свежепобеленные с окнами без штор	50
Чистый бетонный	50	Бетонные с окнами	30
Светлый деревянный (окрашенный)	50	Оклеенные светлыми обоями	30
Бетонный грязный	30	Грязные	10
Деревянный неокрашенный	30	Кирпичные неоштукатуренные	10
Грязный (кузницы, склады)	10	С темными обоями	10

По таблице 26 коэффициентов использования светового потока [44] для соответствующих значений i , $\rho_{ст}$, $\rho_{п}$, примем $\eta=0,49$ – это средняя величина коэффициента, так как нужной лампы в таблице не оказалось, но значения коэффициентов варьируются около 0,5.

Таблица 26 – Коэффициенты использования светового потока

Тип светильника	ОД и ОДЛ			ОДР			ОДО			ОДОР			Л71Б03 ОЛ1Б68		
$\rho_{п}, \%$	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70
$\rho_{ст}, \%$	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50
i	Коэффициенты использования, %														
0,5	23	26	31	21	24	28	21	25	30	18	21	26	14	16	19
0,6	30	33	37	27	30	34	27	31	36	23	27	32	18	20	22
0,7	35	38	42	32	35	38	32	36	41	27	31	35	21	23	25
0,8	39	41	45	35	37	41	36	39	44	30	33	38	23	25	27
0,9	42	44	48	38	40	43	39	42	46	32	36	40	25	27	29
1,0	44	46	49	40	42	45	41	44	48	34	38	42	26	28	30
1,1	46	48	51	41	43	46	42	46	50	36	39	43	27	29	31
1,25	48	50	53	43	45	48	44	48	52	38	41	45	29	30	32
1,5	50	52	56	45	48	51	46	50	55	40	43	47	30	31	34
1,75	52	55	58	47	50	53	49	52	58	42	45	50	31	33	35
2,0	55	57	60	50	52	54	51	55	60	43	47	52	33	34	36
2,25	57	59	62	52	54	56	53	57	62	45	49	54	34	35	37
2,5	59	61	64	53	55	58	55	58	64	47	50	56	35	36	39
3,0	60	62	66	54	56	60	56	60	66	48	52	58	36	37	40
3,5	61	64	67	56	57	61	58	62	67	49	53	59	37	38	40
4,0	63	65	68	57	58	62	59	63	68	50	54	60	38	39	41
5,0	64	66	70	58	60	63	60	64	70	51	56	62	38	40	42

Освещенность помещения рассчитывается по формуле:

$$E_{\phi} = \frac{n \cdot \eta \cdot \Phi}{S \cdot k_z \cdot z}; \quad (28)$$

где Φ – световой поток светильника, лм;

S – площадь помещения, м²;

k_z – коэффициент неравномерности освещения;

n – число светильников;

η – коэффициент использования светового потока.

Согласно СП 31-110-2003 [40], коэффициент запаса k_z учитывает запыленность светильников и их износ. Согласно таблице 27 [44], для помещений с малым выделением пыли $k_z = 1,5$.

Таблица 27 – Коэффициент запаса светильников с люминесцентными лампами.

Характеристика объекта	Коэффициент запаса
Помещения с большим выделением пыли	2,0
Помещения со средним выделением пыли	1,8
Помещения с малым выделением пыли	1,5

Поправочный коэффициент z – это коэффициент неравномерности освещения. Для люминесцентных ламп $z = 1,1$. В помещении находятся светильники ЛВО 4×18 CSVТ, с люминесцентными лампами типа L 18W/640 с потоком $F = 1200$ лм. Учитывая все параметры, рассмотренные выше, найдем освещенность по формуле 3:

$$E_{\Phi} = \frac{40 * 0,49 * 1200}{60 * 1,5 * 1,1} = 237,6 \text{ лк}$$

В рассматриваемом помещении освещенность должна составлять 300 лк согласно СП 52.13330.2016 [46]. В данном помещении освещенность ниже нормы. На рабочем месте в помещении используется совмещенное освещение. При наличии трех окон, на потолке над рабочими местами расположены люминесцентные светильники с зеркальными решетками и установленными в них по 5 люминесцентных лампы типа ЛБ-40. Дневной свет компенсирует недостаток искусственной освещенности. Однако в темное время дня, утром и вечером необходимо дополнительно освещать офис. Вывод: помещение не удовлетворяет нормам освещения.

5.2.3.4 Электромагнитное и электростатическое излучения

Несмотря на большое количество техники, по опасности электропоражения помещение считается в соответствии с классификацией ПУЭ без повышенной опасности, так как отсутствует влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного соприкосновения с имеющими соединение с землей металлическими предметами и металлическими корпусами оборудования. Также не повреждена изоляция проводов, розетки защищены предохранительными кожухами, корпуса устройств заземлены. Силовой щит, через который осуществляется подача питания, оснащен автоматическим предохранителем. Для снижения возникающих разрядов применяется антистатический материал для покрытия. Поэтому при правильном использовании оборудования и соблюдении техники безопасности опасность поражения током маловероятна, исключая аварийные случаи, при случайном соединении заземленных конструкций и частей оборудования, находящихся под напряжением. В таблице 28 обозначены допустимые границы значений напряжения.

Таблица 28 - Граничные значения напряжений, при превышении которых требуется выполнение защиты от косвенного прикосновения в зависимости от категории помещения

Категория помещения	ПУЭ (6-издание) п. 1.7.33	Проект новой редакции ПУЭ
Без повышенной опасности	≥ 380 В перем. тока	> 50 В перем. тока
	≥ 440 В пост. тока	> 120 В пост. тока

Неотъемлемой мерой по защите от поражения током является регулярное проведение организационно – технических мероприятий, к которым относится первичный инструктаж по технике безопасности, а также последующие инструктажи. Инструктаж по технике безопасности является обязательным условием для допуска к работе в данном помещении.

Исходя из вышеописанного можно сделать вывод, что офисное помещение АО «ТомскНИПИнефть», в котором велись разработки выпускной

квалификационной работы соответствует нормам электромагнитного и электростатического излучения, не соответствует нормам освещенности – менее 300 лк. Сложно оценить соответствие помещения нормам микроклимата и шума, так как необходимые данные для расчета и оценки отсутствуют.

5.3 Экологическая безопасность

5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Одними из самых серьезных проблем являются:

Потребление электроэнергии. С увеличением количества компьютерных систем, внедряемых в производственную сферу, увеличится и объем потребляемой ими электроэнергии, что влечет за собой увеличение мощностей электростанций и их количества. И то, и другое не обходится без нарушения экологической обстановки.

Рост энергопотребления приводит к таким экологическим нарушениям, как: изменение климата — накопление углекислого газа в атмосфере Земли (парниковый эффект); загрязнение воздушного бассейна другими вредными и ядовитыми веществами; загрязнение водного бассейна Земли; опасность аварий в ядерных реакторах, проблема обезвреживания и утилизации ядерных отходов; изменение ландшафта Земли.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением. В современных компьютерах, повсеместно используются режимы с пониженным потреблением электроэнергии при длительном простое. Стоит также отметить, что для снижения вреда, наносимого окружающей среде при производстве электроэнергии, необходимо искать принципиально новые виды производства электроэнергии.

5.3.2 Анализ «жизненного цикла» объекта исследования.

Этапы жизненного цикла программного продукта

1. Анализ требований. На этом этапе формулируются цели и задачи проекта, устанавливается область применения программного обеспечения (ПО) и определяются граничные условия, выделяются базовые сущности и взаимосвязи между ними.

2. Стадия проектирования. Проектирование включает в себя определение архитектуры программной системы, её функций, внешних условий функционирования, интерфейсы и распределение функций между пользователями и системой, требования к программным и информационным компонентам.

3. Кодирование (программирование). На данной стадии строятся прототипы как целой программной системы, так и её частей, осуществляется физическая реализация структур данных, разрабатываются программные коды, выполняется отладочное тестирование, создается техническая документация.

4. Тестирование и отладка. В систему встраиваются специальные механизмы, которые дают возможность производить тестирование программного обеспечения на соответствие требований к нему, проверку оформления и наличие необходимого пакета документации.

5. Эксплуатация и сопровождение. Ввод в эксплуатацию ПО предусматривают установку программной системы, обучение пользователей, документирование. Поддержка функционирования ПО должна осуществляться группой технической поддержки разработчика.

Система прогнозирования отказов встраивается в существующее ПО автоматизированного рабочего места оператора и несет только информационный характер. Из чего следует, что непосредственно ПО в процессе своей работы не имеет отходов, а затрагивает лишь незначительные энергоресурсы, о чем говорилось ранее.

5.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Сегодня проблема загрязнения окружающей среды приобретает глобальный характер. И атмосфера, и гидросфера загрязнены токсичными веществами, созданными человеком. Человечество должно разрабатывать и совершенствовать инженерно-технические средства защиты окружающей среды, развивать основы создания замкнутых, безотходных и малоотходных производств. Современная техника и технологии позволяют сократить выбросы вредных и токсичных веществ в окружающую среду, однако для обеспечения экологии на долгосрочный период времени требуется постоянно совершенствовать технологии добычи, потребления, переработки сырья, использования и утилизации оборудования. Мероприятия по защите окружающей среды:

- В офисной среде необходимо использовать системы электронного документооборота. Это поможет избежать излишнего потребления бумаги, чернил и, соответственно, их утилизации.
- Вышедшие из строя детали компьютеров и других технических приборов следует отправлять на утилизацию.
- При проектировании технологически установок следует выбирать наиболее безопасные и экологичные материалы.
- Необходимо выключать приборы и установки после работы с ними, чтобы уменьшить потребление электроэнергии, а также исключить влияние вредных и опасных факторов, связанных с прибором (установкой).

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

К объекту исследования ограничен доступ посторонних лиц на территорию объекта. Это могут быть любые преграждающие устройства:

входные двери, ворота, шлагбаумы, установленные на многих предприятиях или частной собственности людей (квартир, домов, дач). Так же система представлена в виде ПО, анализирующего параметры работы оборудования, и не служит для выдачи команд управления. Поэтому сама система практически исключает возможность инициирования ЧС. Однако не стоит исключать возможность наличия ошибок или недоработок в проектировании систем контроля доступом, что в свою очередь может инициировать возникновение ЧС, связанных с пожароопасностью горючих строительных материалов.

5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией, которая может возникнуть при выполнении данной магистерской диссертации, является пожар, так как происходит эксплуатация устройств электропитания, электронных схем ЭВМ и других источников возникновения пожара. В результате различных неполадок, образующих перегретые элементы и электрические искры, может произойти возгорание горючих материалов.

В соответствии с правилами определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, регламентируемыми правилами устройства электроустановок, помещение, в котором была написана данная работа, относится к категории В, так как в помещении находятся сгораемые вещества и материалы (шкафы, столы, стулья, документация), для питания вычислительной техники используется напряжение 220 В переменного тока.

Для предупреждения возникновения пожара в помещение необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия:

- организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;

– эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;

– технические и конструктивные, связанные с правильные размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Организационные мероприятия:

1. Противопожарный инструктаж работников;
2. Изучение правил техники безопасности;
3. Издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

1. Соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
2. Обеспечение свободного подхода к оборудованию. В комнате рабочие места размещены так, что расстояние между рабочими местами с видеотерминалами (от поверхности экрана одного, до поверхности экрана другого) составляет порядка 2,5 м, расстояния между боковыми поверхностями порядка 1,5 м, что соответствует нормам. Из вышесказанного следует, что дополнительных мер защиты не требуется;
3. Содержание в исправном состоянии изоляции токоведущих проводников.

Технические:

1. Соблюдение противопожарных мероприятий при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В коридоре квартиры на досягаемом расстоянии находится рубильник, обесточивающий всю квартиру.

2. Профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования. В коридоре помещения, в котором выполнялась магистерская диссертация, на досягаемом расстоянии, находится пожарный щит. Наиболее дешевым и простым средством пожаротушения является вода, поступающая из обычного водопровода. Для осуществления эффективного тушения огня используют пожарные рукава и стволы, находящиеся в специальных шкафах,

расположенных в коридоре. В пунктах первичных средств огнетушения должны располагаться ящик с песком, пожарные ведра и топор. Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться огнетушители углекислотные типа ОУ-2. Кроме устранения самого очага пожара нужно, своевременно, организовать эвакуацию людей.

5.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

В случае неисправности устройства или аварии необходимо её устранить и сообщить администрации. Предупреждение пожаров является основной задачей руководителей и инженерно-технических работников предприятий. В работе по предупреждению пожаров большая роль принадлежит личному составу пожарной охраны, который проводит целый комплекс мероприятий по противопожарной защите объектов, осуществляет постовую и дозорную службу, выявляет имеющиеся недостатки и принимает меры к их своевременному устранению в соответствии с ФЗ от 22.07.2008 N 123-ФЗ "Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности" [47]. В соответствии с СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [48] помещение, в котором выполнялась ВКР, относится к наименее опасной категории (Д) с пониженной пожароопасностью. Само здание по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории (Д). Наружных установок здание не имеет.

К пожарно-профилактическим мероприятиям относятся:

- выбор качественного электрооборудования и правильных способов его монтажа с учетом пожароопасности территории, а также регулярный контроль исправности защитных устройств и аппаратов на электрооборудовании, постоянный контроль за надлежащей эксплуатацией электроустановок и электросетей;

- систематический надзор за выполнением правил технической эксплуатации электрических устройств;
- регулярная проверка знаний противопожарной безопасности.
- пожарно-техническая проверка для выявления состояния объектов представителями пожарного надзора с последующим выполнением предписаний и приказов;
- систематическое выполнение противопожарных работ;
- проверка наличия и исправности первичных средств пожаротушения;
- проведение учебных тревог и эвакуаций персонала организации;
- прохождение **противопожарного инструктажа**.

В качестве обязанностей каждый сотрудник организации должен:

- не допускать действий, которые могут привести к пожару и четко знать и выполнять порядок действий, установленных для пожарной безопасности,
- уметь использовать средства пожаротушения, имеющиеся на предприятии;
- в случае обнаружения его признаков возгорания или возникновения пожара немедленно сообщить об этом в пожарную охрану;
- принять меры по ликвидации пожара с помощью первичных средств пожаротушения и организации эвакуации сотрудников. Для тушения возгораний веществ, горение которых невозможно без кислорода, возгораний электроустановок, находящихся под напряжением не более 1000 В, а также жидких и газообразных веществ предназначены **углекислотные огнетушители**.

Для тушения возгорания различных типов веществ, а также электроустановок, находящихся под высоким напряжением до 1000 В предназначены **порошковые огнетушители**.

В организации, где проводилось выполнение ВКР используются первичные средства пожаротушения огнетушители углекислотные (ОУ-2) и порошковые (ОП-5). А также установлена система автоматической пожарной сигнализации и звуковое оповещение людей о пожаре.

Исходя из вышеописанного можно сделать вывод, что офисное помещение АО «ТомскНИПИнефть», в котором велись разработки выпускной квалификационной работы соответствует нормам электромагнитного и электростатического излучения, не соответствует нормам освещенности – менее 300 лк. Сложно оценить соответствие помещения нормам микроклимата и шума, так как необходимые данные для расчета и оценки отсутствуют.

В данном разделе магистерской диссертации был проведен анализ на выявление опасных и вредных факторов рабочего места инженера, разработаны меры по снижению воздействия этих факторов на человека: в качестве мер по снижению шума, воздействующего на людей в рабочем помещении, предусмотрено использование звукопоглощающих материалов; в качестве мер по улучшению микроклимата предусмотрено поддержание в помещении оптимальной температуры; в качестве мер по снижению недостатка освещенности предусмотрено использование искусственного освещения; в качестве мер по снижению электромагнитного и электростатического излучения предусмотрено заземление компьютера.

Также были рассмотрены вопросы по производственной санитарии, технике безопасности, пожарной безопасности, охране окружающей среды.

В организации, где проводилось выполнение ВКР используются первичные средства пожаротушения огнетушители углекислотные (ОУ-2) и порошковые (ОП-5). А также установлена система автоматической пожарной сигнализации и звуковое оповещение людей о пожаре.

Исходя из вышеописанного можно сделать вывод, что офисное помещение АО «ТомскНИПИнефть», в котором велись разработки выпускной квалификационной работы соответствует нормам электромагнитного и

электростатического излучения, не соответствует нормам освещенности – менее 300 лк. Сложно оценить соответствие помещения нормам микроклимата и шума, так как необходимые данные для расчета и оценки отсутствуют.

В данном разделе магистерской диссертации был проведен анализ на выявление опасных и вредных факторов рабочего места инженера, разработаны меры по снижению воздействия этих факторов на человека: в качестве мер по снижению шума, воздействующего на людей в рабочем помещении, предусмотрено использование звукопоглощающих материалов; в качестве мер по улучшению микроклимата предусмотрено поддержание в помещении оптимальной температуры; в качестве мер по снижению недостатка освещенности предусмотрено использование искусственного освещения; в качестве мер по снижению электромагнитного и электростатического излучения предусмотрено заземление компьютера.

Также были рассмотрены вопросы по производственной санитарии, технике безопасности, пожарной безопасности, охране окружающей среды.

Заключение

Экспертная система прогнозирования отказов оборудования нефтегазодобычи разработана для поддержки принятия решений и анализа на производстве, автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), модули КИУС, MES систем, связанные с анализом, планированием и оптимизацией, модели цифровых месторождений. Были проведены следующие этапы разработки:

- Разработан подход к разработке и эксплуатации систем комплексного анализа данных – структурная схема;
- Разработан программный код для модулей системы прогнозирования на примере печи ПТБ-10 – эталонная модель печи и система анализа данных;
- Проведено тестирование программы на технологических параметрах, полученных с модели печи ПТБ [28], а также сгенерированных по экспертным оценкам отказов.

Применение системы позволит прогнозировать дефекты еще в «работоспособном» состоянии оборудования. Автоматически определять косвенные технологические параметры, вносящие вклад в изменение технического состояния. Работа направлена на развитие стратегии Роснефть - 2022 по направлению цифровизации.

Список использованных источников

- [1] Деловой портал «Управление производством» [Электронный ресурс] / Энциклопедия.- URL:<http://www.up-pro.ru/encyclopedia/metody-prognozirovaniya.html>, свободный. – Яз. рус. Дата обращения: 15.01.2020 г.
- [2] Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance / Ahmed Senouci, Mohamed Elabbasy, Emad Elwakil // Earth and Planetary Sciences. -2007. -32(7). 121-135.
- [3] Интернет проект SAP Professional Journal Россия [Электронный ресурс] / Издательство «Эксперт РТ». - URL: <https://sapland.ru/kb/articles/stats/tehnicheskoe-obslyuzhivanie-napravlennoe-na-obespechenie-nadezhnosti-oborudovaniy.html>, свободный. – Яз. рус. Дата обращения 05.12.19
- [4] Dai X, Gao Z, Breikin T. Disturbance attenuation in fault detection of gas turbine engines: A discrete robust observer design // IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C. Applications and Reviews. -2009. -39(2). 0–239.
- [5] Hafaifa A, Guemana M. Vibrations supervision in gas turbine based on parity space approach to increasing efficiency // Journal of Vibration and Control. -2015. -21(8). 1622–1632.
- [6] Bahareh P, Nader M, Khashayar K. Sensor fault detection, isolation, and identification using multiplemodel-based hybrid kalman filter for gas turbine engines // IEEE Transactions on Control Systems Technology. -2015. -24(4). 1184–1200.
- [7] Hadroug N, Hafaifa A. Faults detection in gas turbine using hybrid adaptive network based fuzzy inference systems // Diagnostyka. -2016. -17(4). 3–17.
- [8] Bassily H, Lund R. Fault detection in multivariate signals with applications to gas turbines // IEEE Transactions on Signal Processing. -2009. -57(3). 835–842.
- [9] Isermann R. Fault-diagnosis systems: an introduction from fault detection to fault tolerance // SpringerVerlag Berlin Heidelberg. -2006. -68(9). 78–96.
- [10] Bailey MB, Kreider JF. Creating an automated chiller fault detection and diagnostics tool using a data fault library // ISA Transactions. -2003. – 42. 485–495.
- [11] Du Z, Domanski PA. Effect of common faults on the performance of different types of vapor compression systems // Applied Thermal Engineering. – 2016. -98. 61–72.
- [12] Yang Z, Shengwei W, Fu X. A statistical fault detection and diagnosis method for centrifugal chillers based on exponentially-weighted moving average control charts and support vector regression. // Applied Thermal Engineering. – 2013. -51. 560–572.
- [13] Tsoutsanis E, Meskin N, Benammar M, Khorasani K. A component map tuning method for performance prediction and diagnostics of gas turbine compressors // Applied Energy, 2014;135(24):572– 585.
- [14] Joly R, Ogaji S. Gas-turbine diagnostics using artificial neural-networks for a high bypass ratio military turbofan engine // Applied Energy. – 2004. - 78(4). 397–418.
- [15] Shu Lin, Chunjie Yang, Ping Wu. Active surge control for variable speed axial compressors // ISA Transactions. – 2014. -53. 1389–1395.
- [16] Tayarani-Bathaie SS, Khorasani K. Fault detection and isolation of gas turbine engines using a bank of neural networks // Journal of Process Control. -2015. -36(12). 22-41.
- [17] Nozaria HA, Shoorehdelib MA. Model-based robust fault detection and isolation of an industrial gas turbine prototype using soft computing techniques // Neurocomputing. -2012. - 91(16). 29-47.

- [18] Технопарк [Электронный ресурс] / Поставщик технологического оборудования URL:<http://tehnongv.ru/product/trubchat4/>, свободный. – Яз. рус. Дата обращения: 15.01.2020 г.
- [19] Фейгенберг И.М. Быстрота моторной реакции и вероятностное прогнозирование // Физиология человека. – 2008. – Т. 34. – №. 5. 51-62.
- [20] Боровиков С.М. IT-система прогнозирования надёжности сложных электронных систем методом анализа дерева отказов // Информационные системы и технологии: управление и безопасность. -2013. -№2. 140-144.
- [21] Гречко И.А. Использование методов машинного обучения для прогнозирования опасных конвективных явлений с помощью численной модели конвективного облака // Санкт-Петербург 2017 г. 5-95.
- [22] Суворова А. В. и др. Вероятностные графические модели социальнозначимого поведения индивида, учитывающие неполноту информации // Труды СПИИРАН. – 2012. – Т. 3. – №. 22. 101-112.
- [23] Artamonov Y. S. Prediction of cluster system load using adaptive model mixture // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 5. 9-15.
- [24] Маценов А. А. Комитетный бустинг: минимизация числа базовых алгоритмов при простом голосовании // Всероссийская конференция ММРО-13. – 2007. 180-183.
- [25] Тулупьев А. Л., Фильченков А. А., Вальтман Н. А. Алгебраические байесовские сети: задачи автоматического обучения // Информационноизмерительные и управляющие системы. – 2011. – Т. 9. – №. 11. 57-61.
- [26] Singh S. et al. SVM based system for classification of microcalcifications in digital mammograms // Engineering in Medicine and Biology Society, 2006. EMBS'06. 28th Annual International Conference of the IEEE. – IEEE, 2006. 4747- 4750
- [27] Беляков М. И. Оптимизация программы обслуживания оборудования на основе методологии RCM // Главный механик. – 2015. – №. 9. 69
- [28] Баскакова Н.Т. Оптимизация затрат ремонтов в условиях теории ограничений с применением методов RCM \ Н.Т. Баскакова, И.Л. Сидорук // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2014. Т.2. №1. 207-211
- [29] Ельмузар Л.Х., Гершкович Ю.Б. Исследование динамики системы оптимального управления трубчатой печью при различных критериях управления // Сфера. Нефть и газ. – 4/2017(60). 72-76
- [30] Фильтр Калмана [Электронный ресурс] / Технический форум, URL:<https://habr.com/ru/post/166693/>, свободный. – Яз. рус. Дата обращения: 15.01.2020 г.
- [31] A Review on Depth Estimation for Computer Vision Applications, Dineesh Mohan, Dr. A. Ranjith Ram // International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 4, -11, 2-15.
- [32] van Hinsbergen C. P. J. Bayesian training and committees of state-space neural networks for online travel time prediction // Transportation Research Record. – 2009. – Т. 2105. – №. 1. 118-126
- [33] Artamonov Y. S. Prediction of cluster system load using adaptive model mixture // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 5. 9-15.
- [34] Статья 107 ТК РФ. Виды времени отдыха "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020)

- [35] Федеральный закон "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" от 30.03.1999 N 52-ФЗ (последняя редакция)
- [36] Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 03.06.2003 N 118 (ред. от 21.06.2016) "О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03" (вместе с "СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. 2.2.2. Гигиена труда, технологические процессы, сырье, материалы, оборудование, рабочий инструмент. 2.4. Гигиена детей и подростков. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы", утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 30.05.2003) (Зарегистрировано в Минюсте России 10.06.2003 N 4673)
- [37] "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) ТК РФ Статья 22. Основные права и обязанности работодателя
- [38] "СанПиН 2.1.2.1002-00. 2.1.2. Проектирование, строительство и эксплуатация жилых зданий, предприятий коммунально-бытового обслуживания, учреждений образования, культуры, отдыха, спорта. Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям. Санитарные-эпидемиологические правила и нормативы") (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 15.12.2000) (ред. от 21.08.2007)
- [39] Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30.05.2003 N 107 (ред. от 07.09.2010) "О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.2.1332-03" (вместе с "СанПиН 2.2.2.1332-03. 2.2.2. Гигиена труда. Технологические процессы, сырье, материалы и оборудование, рабочий инструмент. Гигиенические требования к организации работы на копировально-множительной технике. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы", утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 28.05.2003) (Зарегистрировано в Минюсте РФ 16.06.2003 N 4685)
- [40] "СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы" (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 01.10.1996 N 21)
- [41] Нормы шума и вибрации [электронный ресурс]/Библиотека технической литературы, дата обращения 05.04.20 <http://delta-grup.ru/bibliot/19/57.htm>
- [42] "СН 2.2.4/2.1.8.562-96. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. 2.1.8. Физические факторы окружающей природной среды. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы" (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31.10.1996 N 36)
- [43] "ГОСТ 12.1.003-2014. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности" (введен в действие Приказом Росстандарта от 29.12.2014 N 2146-ст)
- [44] Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – 20 с.
- [45] "СП 256.1325800.2016. СП 31-110-2003. Свод правил. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа" (утв. Приказом Минстроя России от 29.08.2016 N 602/пр) (ред. от 25.04.2019)

- [46] "СП 52.13330.2016. Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*" (утв. Приказом Минстроя России от 07.11.2016 N 777/пр) (ред. от 20.11.2019)
- [47] Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ (последняя редакция)
- [48] СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с Изменением N 1)

Приложение А
(справочное)

**Designing an expert system for forecasting emergencies at oil and gas
production facilities.**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ81	Стерехова Валерия Сергеевна		03.06.2020

Консультант школы отделения (НОЦ) ИШИТР, отделение автоматизации и робототехники:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Т. Е.	К.т.н.		03.06.2020

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШБИП	Горбатова Т.Н.	-		03.06.2020

Introduction

For effective work, enterprises need to maintain key performance indicators at a high level:

- quality and quantity of products;
- data processing speed;
- production safety;
- optimization of technical processes.

Accidents and downtime of technological equipment strongly affect these indicators and reduce the efficiency of the enterprise. Therefore, in the last few years, maintenance of industrial systems has been one of the main strategic problems facing the industry.

Thus, a diagnostic system is necessary to ensure uninterrupted and continuous operation of dynamic systems and to increase their performance. Indeed, the diagnostic system is used to provide the control system with the necessary real data on the operating state of the system in good and bad mode. On the other hand, the diagnostic system must satisfy the reliability requirement in order to avoid cases of non-detection and false alarms. This means preventing potential accidental and catastrophic situations. Diagnostic systems are mainly based on comparing the actual behavior of the system with the reference behavior representing the correct operation. This comparison shows changes caused by faults.

In addition, operators need a forecasting tool to estimate the probability of failure of industrial systems. This is necessary to prioritize repairs and inspections before a failure occurs. Therefore, there is a need to develop an objective failure forecasting model for oil and gas equipment based on historical data. The model will help operators take the necessary actions to prevent an emergency failure.

In this paper, we consider the creation of a complex data analysis system for predicting equipment malfunctions and emergency situations using machine learning tools. The first chapter reviews literature sources in this area. The second chapter describes the theoretical foundations for developing a failure forecasting

system. The third chapter describes the methods, architecture, structure and construction of a reference model of equipment and a data analysis system. The fourth chapter assesses the commercial potential and prospects of researching. In the fifth chapter, an analysis is conducted to identify dangerous and harmful factors in the engineer's workplace, measures are developed to reduce the impact of these factors, and issues of industrial sanitation, safety, fire safety, and environmental protection are considered.

The aim of the work is to develop a system of complex analysis of time series data, which is designed to predict equipment malfunctions and emergency situations. The scientific novelty and significance of this work lies in the fact that such a system can be fully or partially applied to equipment for oil and gas production.

1. Literature review

1.1 The concept of the forecasting system

Forecasting is a method that uses historical data as input for reasonable estimates that are predictive in determining the direction of future trends. Forecasting is a complex process, during which it is necessary to solve a large number of different issues. Its implementation is a combination of various forecasting methods. Today there are a huge number of such methods, but only 15 - 20 are used in practice [1]. The figure 1 shows the most popular forecasting methods.

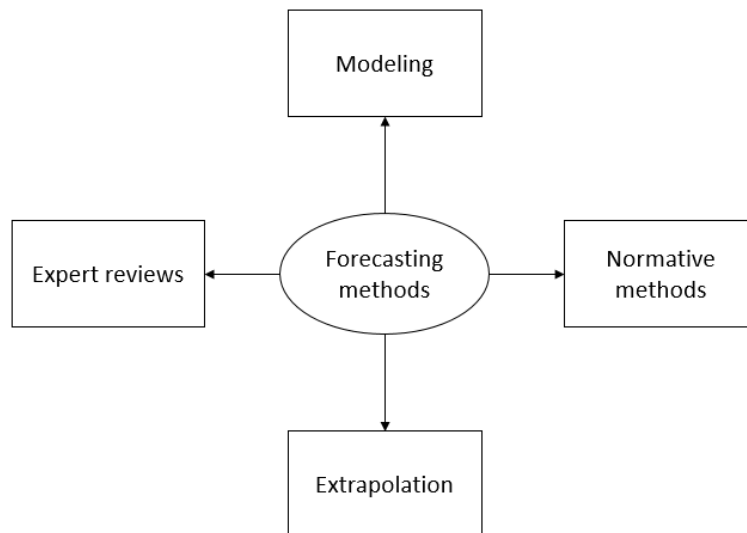


Figure 1 - Forecasting Methods

The main idea of the expert review's method is that the forecast is made up of the opinion of one specialist or a group of specialists, which is based on professional, practical and scientific experience.

The essence of extrapolation is to study stable trends in the past, as well as in the present and their transfer to the future. There are predictive and formal extrapolations. Formal extrapolation is based on the hypothesis that past and present development trends will continue in the future; in case of predictive - the current development trends are linked with hypotheses about the dynamics, taking into account the fact that in the future the influence of various factors may change.

Modeling is the construction of a model based on a preliminary study of the object and processes, finding its essential features and characteristics. Forecasting using models includes its development, experimental analysis, comparing the results of preliminary predictive calculations with actual data on the state of the process or object, refining and updating the model.

The normative method is one of the main forecasting methods. Currently, it has great importance. The essence of the method is in the feasibility studies which are made with the use of standards and norms. Standards and norms are applied in calculating resource requirements, as well as indicators of their use.

This paper represents the elements of all the methods mentioned above, which will be described later.

1.2 Hardware failure analysis

CONCAWE reports classify the causes and types of failures of oil and gas equipment in the following categories [2]:

By the nature of the change in the parameters of the object:

- Progressive (parametric) failure means a failure caused by a gradual change in one or more parameters without fast jumps. Typically, such failures can be prevented and eliminated through routine maintenance. Reasons: aging material, corrosion, wear parts, etc.
- A sudden (instantaneous) failure is characterized by a sudden change in one or more parameters. Usually it shows rapid spontaneous damage (rupture, fracture, rupture, etc.) and is not accompanied by obvious signs. Reason: internal failure, operator error, violation of the operating mode. However, in most cases, the cause of the event cannot be determined immediately, and remains unknown for a certain period of time. It can be determined by using the theory of probability.

Failures should also be considered in terms of the cause:

- Constructional: structural defects can cause structural failure. Reasons: errors in the development and design of the facility, a misunderstanding of the safety boundaries, violation of GOST standards, etc.
- Production: Production failures are caused by violations of production technology or maintenance errors. Reasons: non-compliance with documentation standards, the use of low-quality materials and components, insufficient product quality control, etc.
- Operational: Violation of the operating rules of the equipment and / or operating conditions may lead to malfunctions. Reason: errors of low-skilled maintenance personnel, ignoring / violation of the rules of technical documentation, errors of aging and wear of equipment.

- Degradation: degradation is that the object is gradually approaching its final state under the influence of physical wear and tear and aging in accordance with the standards of production operation.
- Third Party: Failure as a result of accidental or deliberate actions by a third party. This also includes “accidental” damage by a third party that was not detected at its initial occurrence, but after some time became the cause of the failure.

These five main types of failures differ in their occurrence. Figure 2 shows the distribution of these failures as a percentage of their occurrence over 25 years (from 1971 to 1996) based on two statistical reports CONCAWE [2]

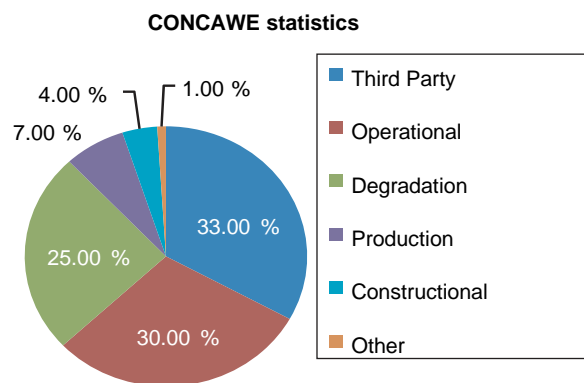


Figure 2 - CONCAWE Equipment Failure Statistics

The diagram shows that failures that can be predicted (equipment degradation, structural breakdowns and operational errors) are about 62%.

1.3 Failure Prevention Techniques

Performance decline of equipment is usually associated with misalignment or balance, corrosion and wear, contamination, or insufficient lubrication of components. The detection of these problems at an early stage eliminates defects before they can affect the production process, and helps to optimize the production process.

Failure prevention methods include [3]:

- Scheduled equipment maintenance. The scope of maintenance work is determined by the annual maintenance plans of the equipment throughout the life of the equipment. It indicates the type of equipment, the number of types of periodic maintenance that must be performed, and the complexity of the work. The service life of the equipment is the calendar operating time, due to the level of moral and physical deterioration of the equipment.

- Functional testing. Functional testing is a periodic check of the operability of the technical and software systems for compliance with the Safety Requirements Specification. It is a test of the operation of all functional elements of the equipment during the overhaul period by their single remote turning off and on.

- Real-time equipment monitoring. Permanent on-line monitoring provides the equipment management system with the possibility of real-time diagnostics and alerts operators of the current state of units. This allows staff to make decisions to stop or continue production.

- Predictive methods. An analysis of the deterioration of equipment performance in real time, which is based on failure prediction algorithms, allows us to identify the root cause of its inefficiency and, accordingly, plan preventative maintenance activities on time.

Basically, oil and gas production facilities in the Russian Federation use scheduled maintenance and monitoring of equipment in real time by operational personnel. Even if the equipment does not fail often, any failure of this equipment can have serious economic, social and environmental consequences. One long break in the process can make the company unprofitable. From an economic point of view, a reliable system of protection, forecasting and performance monitoring are extremely important for the proper functioning of the production.

1.4 Existing forecasting systems

The fault diagnosis approaches used in the oil and gas industry are usually divided into two main classes, such as the diagnostic approaches based on a mathematical model and diagnostic approaches based on data analysis. Approaches to the mathematical modeling of faults include the observer approach [4], the parity approach [5] and the approaches based on the identification of the system [6]. Approaches to the analysis of fault data include a model based on artificial intelligence (fuzzy logic, neural networks, etc.) [7], statistical approaches and approaches based on signal processing [8,9].

There are several works containing the main problems of the proposed diagnostic approaches. For example, a scientific paper [10] describes fault detection and diagnostics based on knowledge base tools in an automated water-cooling installation. Another work [11] describes the influence of common faults on the performance of various types of steam compression systems. Another approach to diagnostics, namely, the method of statistical detection and fault diagnosis for centrifugal water cooling plants based on exponentially weighted control diagrams of the moving average and regression of support vectors, is described in [12]. The performance diagnostics of gas turbine compressors based on the method of tuning the component map are described in [13]. Tayarani-Bathaie SS and Khorasani in their work [14] write about the diagnosis of a gas turbine for a military turbopump engine with a high speed based on artificial neural networks. Active overvoltage control for variable speed axial compressors was studied in [15]. Fault diagnostics based on the evolution strategy (simple genetic algorithm and fuzzy approaches) for gas turbocharger systems are described in [16, 17].

Based on these studies, lack of research in predicting the failure of oil and gas equipment is obvious. The authors did not find an objective model for predicting its failure. Research has focused on either physical models or subjective ones. The first method requires more data and is expensive to calculate, on the other hand, the second method is based on the experience of researchers. However, a risk-based

objective forecasting model can help decision-makers in this area plan infrastructure rehabilitation more efficiently.

1.5 Formulation of the problem

Based on the analysis of the subject area, it can be concluded that despite the availability of a sufficient number of methods for preventing equipment failures, more than half of failures are due to equipment degradation, structural breakdowns and operational errors that could be identified and eliminated in a time

With so many developments in the field of predictive analytics, only some of them are currently used, mainly in foreign fields. In the Russian Federation, equipment failure prevention is carried out by classical methods - scheduled maintenance and real-time monitoring by operational personnel. From which we can conclude that despite the fact that the field of forecasting equipment failures is not new, but still relevant.

Thus, the task is to develop a system for predicting the failure of oil and gas production equipment using specific equipment as an example.

To do this, I need:

- develop the structure of the forecasting system;
- generate data suitable for use in the system;
- choose a method for developing a model of equipment;
- develop a reference model of equipment;
- develop a data analysis system;
- analyze the result.

2. Development of the failure forecasting system concept.

2.1 Equipment analysis

The PTB-10 tube furnace was chosen as an example of equipment for the failure forecasting system. It is designed to transfer heat to a heated product (for

example, oil emulsion). Heat is obtained by burning fuel in a combustion chamber. The tube furnace is a complex multi-dimensional and multi-connected automation object. The purpose of regulating a tube furnace is to maintain the temperature of the oil emulsion at the output. Figure 3 shows a diagram of the PTB-10 tube furnace

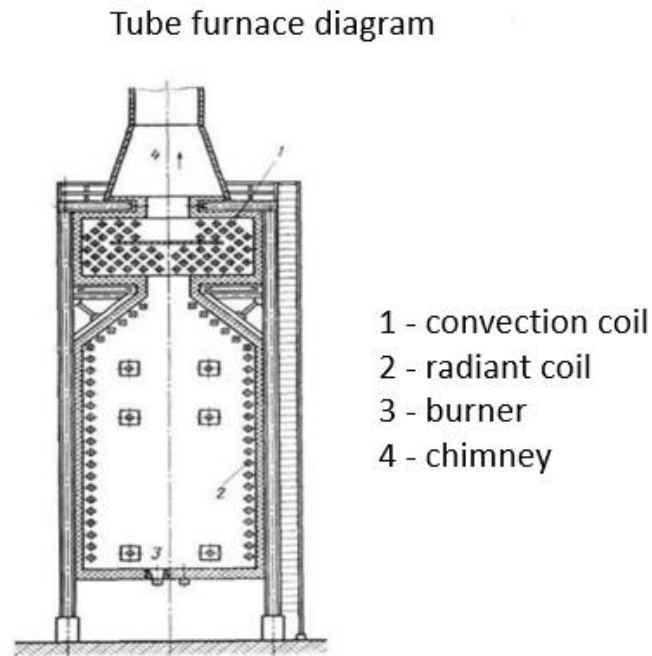


Figure 3 - Diagram of a tube furnace PTB-10

A multiple curved steel coil is located inside the furnace. The heated mixture is continuously pumped through it. The mixture is fed into the convection section and then into the radiant section. Liquid and gaseous fuels are burned in burners of a radiant chamber. As a result, the temperature of the flue gas rises. Thermal rays fall on the outer surfaces of the pipes and the inner surfaces of the walls of the radiant chamber. Heated wall surfaces emit heat, which is also absorbed by the surfaces of radiant pipes. Most of the heat used is transferred to the radiant sections and the rest to convection sections. Flue gases pass the convection section and give off heat to the pipes located there. The speed of the flue gas determines the efficiency of convection heat transfer. After the convection chamber, the flue gases go into the chimney [18].

The coil is the most vulnerable element of the tube furnaces, as the heated oil emulsion moves along it. It consists of pipes and connecting furnaces. Salt and

various contaminants are deposited in the coil during operation. Failure prediction system trained to detect failures associated with contamination of the PTB-10 furnace coil.

The following parameters can be distinguished as furnace parameters:

- flue gas temperature;
- input oil temperature;
- oil pressure;
- gas pressure;
- concentration of explosive gases;
- gas consumption;
- gas temperature;
- electric motor rotation frequency;
- oil consumption;
- output oil temperature.

These parameters will be used to obtain the reference model of the PTB-10 furnace.

2.2 Forecasting models analysis

Many models and methods have been proposed for solving the problem of forecasting industrial equipment failures. They differ in the set of input data and the form of results presentation. There is ready-made software that implements a system of methods and algorithms for predicting failures of industrial equipment. Probabilistic methods and methods of statistical data analysis are traditionally used to predict failures.

1. Probabilistic methods. Probabilistic forecasting methods are based on probability theory, mathematical statistics and the theory of random processes [19]. The use of such methods involves determining the probability of failure-free operation of the system and the construction of distribution functions of random

variables characterizing the failure-free operation of objects. Experimental data are needed to implement these methods. The collection of such data involves the accumulation of data relating to all modes of equipment operation and various causes of breakdowns and failures. Prediction of the state of equipment is carried out on the basis of the calculation of system reliability indicators.

2. *Statistical analysis* methods also use data from previous periods of equipment operation. Statistical models are built on their basis.

The literature sources of information highlight:

- simulation models - the structure and indicators used for these models are developed depending on the tasks, equipment and operating conditions.
- regression models - allow to obtain a forecast of the values of a given characteristic depending on the values of the selected factors in the observed period of time;
- Markov processes and chains - they help to model system transitions from one state to another;

3. *Predictive analytics*. It is a set of data mining methods aimed at forecasting. Data on the characteristics of the equipment, external influences, the state of the environment are used to obtain a forecast. Automated processing of large amounts of data is the basis of predictive analytics. The purpose of this processing is to extract patterns and dependencies from existing arrays that allow us to build predictive models. This is carried out using statistical methods. An example of the implementation of the predictive analytics method is the analysis of the fault tree.

The tree of failures (accidents, incidents, consequences, undesirable events) is a multi-level graphological structure of causal relationships. They are obtained by tracing dangerous situations in the reverse order to find possible causes of their occurrence [20]. The advantages of the fault tree method are as follows:

- allows you to show explicitly unreliable places;
- makes it possible to perform a qualitative or quantitative analysis of the reliability of the system;

- provides a deep understanding of system behavior;

The disadvantages of the fault tree are as follows:

- the implementation of the method requires a significant investment of time and money;
- the fault tree is a Boolean logic diagram showing only two states: operational and failed;
- it is difficult to take into account the state of partial failure of elements;
- requires specialists on the reliability of a thorough understanding of the system and consideration of only one specific failure each time;
- the fault tree describes the system at a certain point in time (usually in steady state), and sequences of events can be shown with great difficulty, and sometimes this is not possible.

The fault tree analysis method helps to analyze the causes of failures of technical systems and develop the most effective measures for their elimination. This analysis is carried out for the system as a whole or for each part [20]. The main plus of predictive analytics is that everything can be predicted. The disadvantages include the fact that integration and the right approach to predictive analytics require a lot of effort and energy and are also very expensive. Therefore, to realize all this is quite difficult, but you can use it almost everywhere.

4. *Machine learning* based methods. A variety of training models can be used to solve a large number of problems, operate on various types of data, and determine non-obvious patterns [21]. The main models of machine learning can be distinguished:

- Graphic / generative models. The architecture is set with free parameters. Gradient descent is applied to data to adjust parameters. It requires small computing resources, but there is a risk of overfitting [22,23].

- Boosting. The learning algorithm may be imperfect, but it can provide the desired level of forecasting due to repeated application in different ways. The advantages of the method include the speed of its work and good automation [24].
- Bayesian training. A small amount of input is enough for the model, but human participation is required to set the a priori value of the training. Therefore, the algorithm is poorly automated [25].
- Core-based training. A kernel is defined that satisfies the necessary conditions and is used as a standard in training. Large computational complexity requires high performance and for large amounts of data It isn't capable to cope with the prediction task [26].

5. *RCM methodology*. This technology assumes reliability oriented maintenance.

It allows to determine the measures necessary for the system and its elements to fulfill their functions within the production process [27]. The RCM methodology is based on the hypothesis that maintaining a piece of equipment in perfect condition is not an end in itself. The main thing is to ensure the reliability of critical production and technical processes. RCM analysis can predict failure by a set of parameters and can reduce or completely abandon scheduled repairs. Only the equipment that really needs it is being repaired [28]. Large amounts of data cannot be analyzed without an automated model, repair history and knowledge base.

Conclusions: Methods of statistical analysis, probabilistic methods, methods of predictive analytics, RCM methods and methods based on machine learning have been described to solve the problem of forecasting failures of oil and gas production equipment. Statistical analysis methods and probabilistic methods can provide a reliable forecast of failures only if there is a model for the formation of failures. It is extremely difficult to develop such models for oil and gas production equipment, since a large amount of experimental data on failures is necessary. We can say that these methods are not applicable in this work, since such data are not available at this stage of development.

Predictive analytics methods use mainly statistical methods. They give reliable results for the prediction of failures, but require a deep understanding of each failure, and therefore are unsuitable for implementation in this work.

The use of RCM methods involves sorting equipment into elements and determining those on which the overall system's performance is most dependent. Large amounts of data cannot be analyzed without an automated model, repair history and knowledge base.

Machine learning methods are the most promising, as they allow the implementation of forecasting models using both archival and current data, which come in real time from instrumentation and automation devices and obtain non-obvious patterns. The possibility of training involves the operational adjustment of the parameters of forecasting models, even under different operating conditions of the equipment. The only minus of these methods is that equipment failures are quite rare, that is why it is necessary to operate with expert estimates and the experience of operational and maintenance personnel.

2.3 Forecasting system structure

Oil and gas production facilities are equipped with advanced process control systems, including built-in diagnostic tools. However, statistics of incidents and accidents indicate that existing diagnostic tools are not enough. Not only accidents, but also equipment downtime and unplanned outages are due to this. It can be judged that technically automated process control systems are ready to solve these problems in case there is an efficient forecasting system.

Figure 4 shows the structure of the forecasting system.

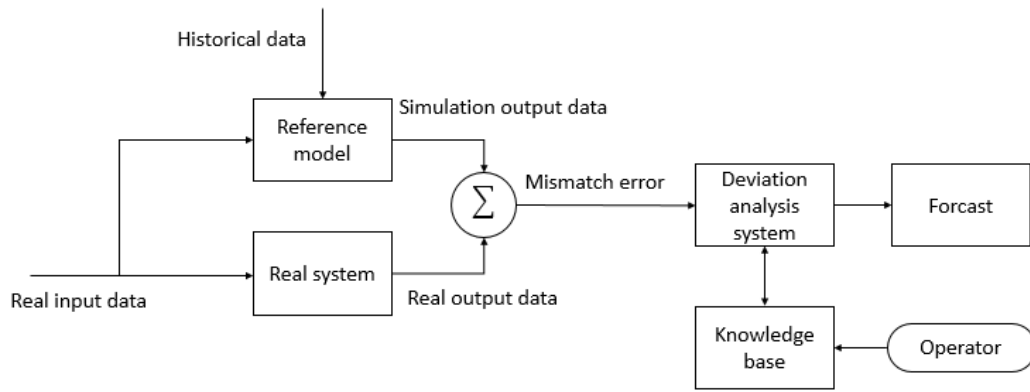


Figure 4 - System block diagram

The block furnace PTB-10 is taken as a technological object.

The reference model of the object is a model of real equipment, built on archived input-output data from the PTB-10 furnace, simulating the normal mode of its operation.

The deviation analysis system is formed on the basis of archival data on equipment failures generated in the format of a knowledge base, as well as expert opinion.

The knowledge base is presented in the form of data entered by the operator/analyst, containing the rules for input, processing, storage and output of parameters.

The current input to the real system is also input to the reference model. The difference signal between the output signals of the reference model and the real system, called the mismatch error, is fed to the input of the deviation analysis system, where the probability of a particular emergency is calculated. After that, a probable failure forecast is formed.

A key feature of this structure is its versatility and applicability to any technological equipment, provided that there is a sufficient amount of input-output data of the equipment and data on its failures.