



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

Школа Инженерная школа энергетики  
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
ООП Электроэнергетика  
Специализация Электроэнергетические системы и сети  
Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
<b>Перспективные подходы к реализации мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности на тепловой станции</b>

УДК 621.311.22:620.9:658.5

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A92	Кожевников Даниил Николаевич		12.06.2023

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Разживин Игорь Андреевич	Кандидат технических наук		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Черемискина Мария Сергеевна	-		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетика, доцент ОЭЭ	Бацева Наталья Ленмировна	Кандидат технических наук		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ  
ООП ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА**

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-2	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин
ОПК(У)-4	Способен использовать свойства конструкционных и электротехнических материалов в расчетах параметров и режимов объектов профессиональной деятельности
ОПК(У)-5	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин применительно к объектам профессиональной деятельности
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У) -1	Способен проводить сбор и анализ данных для проектирования объектов профессиональной деятельности (ПД)
ПК(У) -2	Способен составить конкурентно-способные варианты технических решений при проектировании объектов профессиональной деятельности
ПК(У) -3	Способен проводить проектирование в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных методов
ПК(У) - 4	Способен контролировать техническое состояние объектов профессиональной деятельности, организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт по имеющейся технической документации
ПК(У) - 5	Способен осваивать вводимые в эксплуатацию объекты профессиональной деятельности по имеющейся технической документации

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Национальный исследовательский Томский политехнический университет».**

Школа Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
16.02.2023 Бацева Н. Л.  
 (Подпись) (Дата) (ФИО)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5A92	Кожевников Даниил Николаевич

Тема работы:

<b>Перспективные подходы к реализации мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности на тепловой станции</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	14.02.2023 №45-46/с

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	12.06.2023
--	------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования являются тепловые электростанции. В качестве исходных данных предоставлены интернет сайты, статьи и публикации. Тексты и графические материалы.
<b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b>	Обзор достижений мировой науки и техники в сфере инновационных подходов по энергосбережению и энергоэффективности в энергетике. Аналитический обзор некоторых из них. Составление методики расчёта для оценки эффективности введённых энергосберегающих мероприятий. Заключение по работе.
<b>Перечень графического материала</b>	Таблицы, рисунки

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Татьяна Борисовна
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	16.02.2023
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОЭЭ	Разживин Игорь Андреевич	Кандидат технических наук		16.02.2023

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5А92	Кожевников Даниил Николаевич		16.02.2023

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Национальный исследовательский Томский политехнический университет».**

Школа Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники  
 Период выполнения весенний семестр 2023 учебного года

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

Обучающийся:

Группа	ФИО
5А92	Кожевников Даниил Николаевич

Тема работы:

<b>Перспективные подходы к реализации мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности на тепловой станции</b>
---

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	08.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
03.05.2023	Обзор достижений мировой науки и техники в сфере инновационных подходов по энергосбережению и энергоэффективности в энергетике.	30
17.05.2023	Предложить мероприятия по увеличению энергосбережения и энергоэффективности на тепловых электростанциях.	40
03.06.2023	Составление методики расчёта для оценки эффективности введённых энергосберегающих мероприятий.	30
Итого		100

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Разживин Игорь Андреевич	Кандидат технических наук		16.02.2023

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Бацева Наталья Ленмировна	Кандидат технических наук		16.02.2023

**Обучающийся**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А92	Кожевников Даниил Николаевич		16.02.2023

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 85 с., 9 рис., 30 табл., 20 источников, 0 прил.

Ключевые слова: цифровизация, IoT, Big Data, цифровой двойник, тепловые электростанции, энергоэффективность, энергосбережение.

Объектом исследования являются тепловые электростанции

Цель работы – выявить и проанализировать основные тренды в области цифровизации технологических процессов, предложить решения относительно тепловых электростанций

В ходе работы проводились анализ перспективных подходов в области цифровизации и их применимость к тепловым электростанциям, с целью повышения энергоэффективности и энергосбережения

В результате исследования предоставлена информация по IoT + Big Data и цифровым двойникам применительно к тепловым электростанциям, с составлением графических элементов и блок-схем. Предоставлена методика расчёта энергоэффективности энергосберегающих мероприятий на тепловых электростанциях.

## Содержание

Реферат .....	6
Содержание .....	7
Введение .....	9
Определения и сокращения .....	10
1. Достижения мировой науки и техники в сфере инновационных подходов по энергосбережению и энергоэффективности в энергетике .....	11
1.1. Индустрия 4.0 .....	12
1.2. Промышленный интернет вещей (Industrial Internet of Things) .....	14
1.2.1. Синергия IoT и Big Data .....	15
1.2.2. Предназначение IoT в электроэнергетике: .....	16
1.2.3. Примеры использования IoT на теплоэлектростанциях в России ...	17
1.2.4. Методы для осуществления прогнозирования .....	18
1.3. Цифровой двойник (Digital Twin) .....	19
1.3.1. Предназначение цифровые двойники .....	20
1.3.2. Примеры использования DT на теплоэлектростанциях в России ...	21
1.3.3. Методы и алгоритмы для моделирования цифрового двойника .....	23
1.3.4. Обработка полученных данных .....	26
2. Мероприятия по увеличению энергосбережения и энергоэффективности на тепловых электростанциях .....	29
2.1. IoT .....	29
2.2. Цифровые двойники .....	35
3. Методика расчёта эффективности энергосберегающих мероприятий .....	39
3.1. Простые критерии эффективности .....	40
3.2. Алгоритм расчета технико-экономических результатов энергосберегающих мероприятий на ТЭС .....	41
3.3. Учет составляющих затрат на осуществление энергосберегающих мероприятий .....	50
3.4. Алгоритм экспресс-оценочного расчета экономической эффективности энергосберегающих мероприятий на ТЭС .....	51

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	53
1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	55
2. Планирование научно-исследовательских работ .....	59
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	67
Социальная ответственность.....	70
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	73
2. Производственная безопасность при эксплуатации.....	75
3. Экологическая безопасность при эксплуатации.....	78
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации.....	81
Заключение .....	83
Список источников .....	84



## **Введение**

Актуальность вопросов энергосбережения и энергоэффективности является неоспоримой в современной энергетике. Несмотря на то, что уже существуют многие методы и подходы к решению этих проблем, все еще сохраняется необходимость в совершенствовании технологий и поиске новых решений. В рамках данной ВКР рассмотрены перспективные подходы к реализации мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности на тепловых электростанциях, которые позволяет значительно повысить уровень контроля и управления процессами, а также достичь существенных результатов в снижении потребления энергии и повышении эффективности работы электростанций в целом.

Целью работы является изучение и анализ существующих подходов и последующее их усовершенствование с использованием новейших технологий.

Задачи работы определяются как исследование и анализ перспективных подходов к реализации мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности на тепловых станциях, а также способы оценки их эффективности.

Объектом исследования является тепловые станции, а предметом исследования являются перспективные подходы к реализации мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности на этих станциях.

## **Определения и сокращения**

ТЭС – тепловая электростанция

IoT - internet of things (интернет вещи)

DT - digital twin

ЦД – цифровой двойник

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль

ГРЭС - государственная районная электростанция

ТО – техническое обслуживание

## **1. Достижения мировой науки и техники в сфере инновационных подходов по энергосбережению и энергоэффективности в энергетике.**

Энергосбережение и повышение энергоэффективности являются одними из важнейших направлений модернизации экономики России и топливно-энергетического комплекса. Они входят в перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации.

Актуальность проблем энергосбережения и повышения энергоэффективности в нашей стране обусловлена высокой энергоемкостью валового внутреннего продукта (ВВП), которая в 3,5-5 раз превышает аналогичные показатели развитых стран. Вместе с тем энергетической стратегией России на период до 2035 года предусмотрено снизить энергоемкость национального ВВП не менее чем на 40 %. При этом треть от этого потенциала энергосбережения сосредоточена в топливно-энергетическом комплексе, как одном из крупнейших секторов экономики России. Снижение данного показателя в значительной мере должно быть достигнуто за счет реализации потенциала энергосбережения в генерирующем комплексе.

Энергетика является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей промышленности, в которую активно внедряются инновации.

В качестве наиболее востребованных технологических решений можно выделить следующие: индустрия 4.0, машинное обучение и Big Data, mesh-сети нового поколения, построенные на базе PLC+RF - мощной и функциональной системы для связи между концентратором данных и прибором учёта, технологии сотовой связи стандарта NB-IoT, предназначенной для устройств телеметрии. Проведение Big Data позволяет проанализировать работу оборудования и выявить «слабые» места. При этом важнейшей задачей является перевод оборудования электростанций от системы регламентного управления состоянием оборудования к оценке их фактического технического состояния. Это может быть решено современными методами диагностики и комплексного мониторинга. При этом очевидно

требование, что данные методы должны предусматривать проведение мониторингового обследования в режиме "онлайн", то есть без вывода оборудования станций из работы.

### **1.1. Индустрия 4.0**

Четвёртая промышленная революция (Индустрия 4.0), положившая начало четвертому – энергетическому – переходу, получила свое название от инициативы 2011 года (В рамках промышленной выставки в Ганновере), возглавляемой бизнесменами, политиками и учеными, которые определили ее как средство повышения конкурентоспособности обрабатывающей промышленности через усиленную интеграцию "киберфизических систем" (CPS) в производственные процессы. Изменения охватят самые разные стороны жизни: рынок труда, политические системы, технологический уклад, энергетический сектор, человеческую идентичность и др.

Специально созданная в Германии рабочая группа разработала стратегию превращения производственных предприятий страны в «умные».

Этому примеру последовали и другие страны, активно осваивающие новые технологии, в том числе Россия. А термин «Индустрия 4.0» стали использовать как синоним четвертой промышленной революции. Суть ее в том, что сегодня материальный мир соединяется с виртуальным, в результате чего рождаются новые киберфизические комплексы, объединенные в одну цифровую экосистему. Роботизированное производство и «умные» предприятия - один из компонентов трансформированной отрасли. Четвертая промышленная революция означает все большую автоматизацию абсолютно всех процессов и этапов производства: цифровое проектирование объектов, создание их виртуальной копии, совместная работа инженеров и дизайнеров в едином цифровом конструкторском бюро, удаленная настройка оборудования на предприятии под технические требования для выпуска этого конкретного "умного" продукта, автоматический заказ необходимых компонентов в нужном количестве, контроль их поставки, мониторинг пути готового продукта от склада на фабрике до магазина и до конечного клиента. Но и после

продажи производитель не забывает о своем продукте, как это было раньше в классической модели: он контролирует условия использования, может менять настройки удаленно, обновлять программное обеспечение. предупреждать потребителя о возможных поломках, а под конец периода эксплуатации принимать продукт на утилизацию.

Для внедрения сценариев четвёртой промышленной революции на предприятиях было сформулировано несколько основных принципов построения Индустрии 4.0:

- **совместимость**, что означает способность машин, устройств, сенсоров и людей взаимодействовать и общаться друг с другом через интернет вещей;
- **прозрачность**, которая появляется в результате такого взаимодействия. В виртуальном мире создается цифровая копия реальных объектов, функций, которая точно повторяет все, что происходит с ее физическим клоном. В результате накапливается максимально полная информация обо всех процессах, которые происходят с оборудованием, "умными" продуктами, производством в целом и так далее. Для этого требуется обеспечить возможность сбора всех этих данных с сенсоров и датчиков и учета контекста, в котором они генерируются;
- **техническая поддержка** – третий принцип Индустрии 4.0. Суть его в том, что компьютерные системы помогают людям принимать решения благодаря сбору, анализу и визуализации всей той информации, о которой говорится выше. Эта поддержка также может заключаться в полном замещении людей машинами при выполнении опасных или рутинных операций;
- **децентрализация управленческих решений**. Делегирование некоторых из них киберфизическим системам. Идея в том, чтобы автоматизация была настолько полной, насколько это вообще возможно: везде, где машина может эффективно работать без вмешательства людей, рано или поздно должно произойти человекозамещение. Сотрудникам при этом

отводится роль контролеров, которые могут подключиться в экстренных и нестандартных ситуациях.

## 1.2. Промышленный интернет вещей (Industrial Internet of Things)

- это система объединенных компьютерных сетей и подключенных промышленных (производственных) объектов со встроенными датчиками и ПО для сбора и обмена данными, с возможностью удаленного контроля и управления в автоматизированном режиме, без участия человека.

Принцип работы технологии заключается в следующем: первоначально устанавливаются датчики, исполнительные механизмы, контроллеры и человеко-машинные интерфейсы на ключевые части оборудования, после чего осуществляется сбор информации, которая впоследствии позволяет компании приобрести объективные и точные данные о состоянии предприятия.

### Информация о состоянии оборудования

- Температура работы турбин и генераторов
- Давление и расход пара и воды
- Уровни топлива, масла и других средств, используемых в процессе генерации электроэнергии
- Состояние и работа насосов, вентиляторов, конденсаторов и других узлов техники
- Напряжение и сила тока на различных участках системы электроснабжения

### Информация о производственном процессе

- Объем и степень сжатия пара, используемых в генерации электроэнергии
- Энергопотребление и потоки тепла на различных ступенях производства
- Количество произведенной электроэнергии и степень ее использования потребителями
- Эффективность работы системы и качество произведенной энергии

### Информация о потребителях

- Количество и типы потребителей, включенных в систему энергоснабжения
- Потребления электроэнергии на различных участках системы сбыта, как для промышленных, так и для домашних потребителей
- Динамика изменения потребления энергии в зависимости от времени и сезона
- Информация об исторических потребностях и прогнозируемых потребностях на основе тенденций потребления

### Информация о безопасности и контроле качества

- Наличие и состояние системы аварийного выключения и сигнализации
- Распределение пожарной, химической и иных видов опасности
- Контроль качества выпускаемой электроэнергии в соответствии с государственными и международными стандартами
- Оценка и контроль скорости утечки и загрязнения окружающей среды

### Информация о контроле затрат

- Подсчет и контроль затрат на топливо, оборудование и ресурсы
- Прогнозирование и оптимизация затрат на энергоснабжение и технические средства
- Контроль и улучшение эффективности работы технических средств и персонала

Рисунок 1 - Информация, которую собирает IoT

Важным аспектом IoT является его способность обрабатывать большие объемы данных и выявлять скрытые закономерности, что позволяет улучшить управление производственными процессами и принимать интеллектуальные решения на основе результатов анализа данных. Кроме того, он предоставляет возможность удаленного управления и мониторинга оборудования, что позволяет осуществлять оперативный ремонт и предотвращать сбои в работе производственных линий.

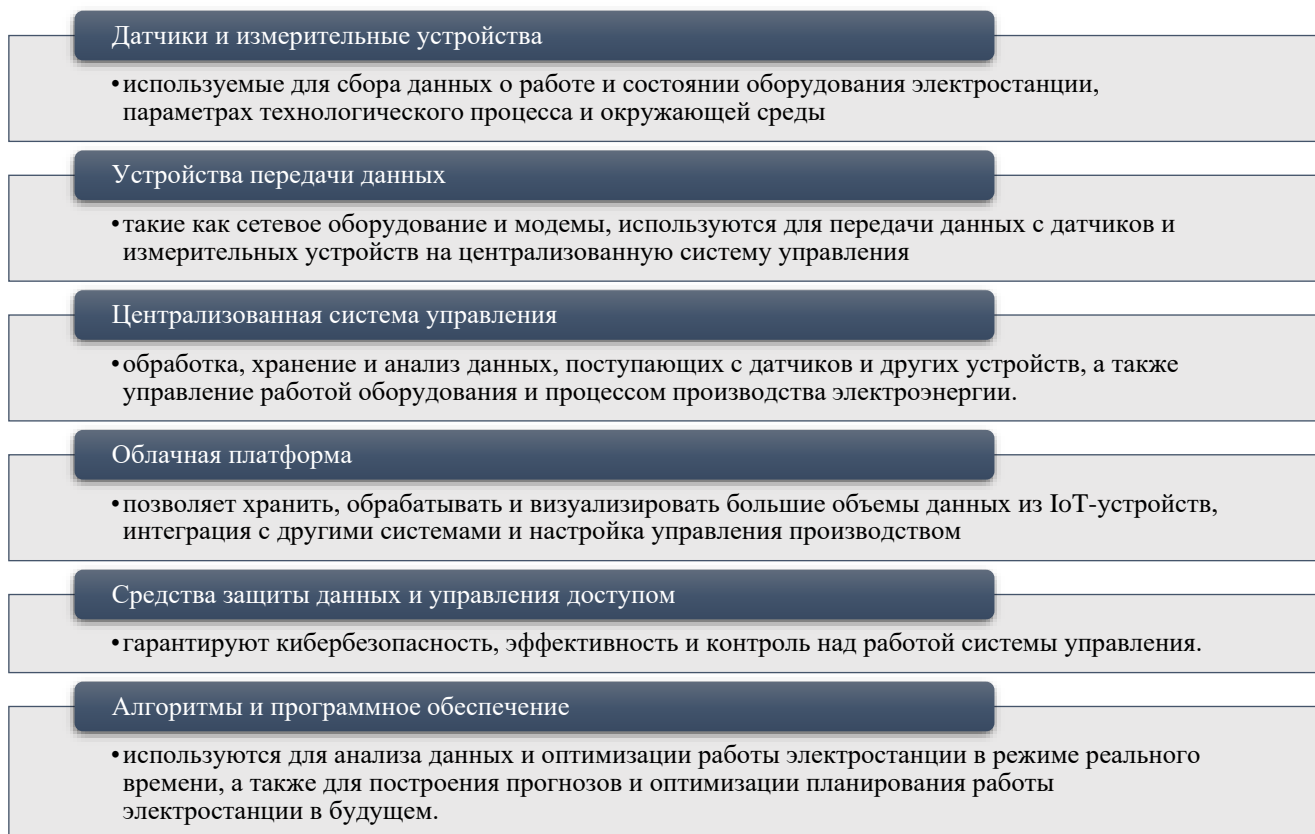


Рисунок 2 - Составляющие IoT

### 1.2.1. Синергия IoT и Big Data

Синергия между IoT и Big Data заключается в том, что каждая технология усиливает другую, создавая новые возможности для получения ценной информации и принятия более эффективных решений.

Первое, что нужно отметить, это объемы информации, которые генерируют устройства IoT. Большинство IoT-устройств собирают информацию о том, как и когда они используются, а также о том, как пользователь взаимодействует с ними. Эти данные могут быть использованы

для создания предметной области и для идентификации трендов в использовании устройств.

Однако, для того, чтобы эти данные стали полезными, необходимо их собирать и анализировать, а это то, где Big Data и её технологии становятся полезными. С помощью технологий Big Data, данные обрабатываются, систематизируются и помещаются в предметную область, что позволяет проводить точный анализ и раскрытие скрытых трендов. Также, эти данные могут быть использованы для создания популярных сценариев и моделей, которые можно использовать для принятия более точных решений.

### **1.2.2. Предназначение IoT в электроэнергетике:**

В электроэнергетике, IoT-технологии используются для управления и мониторинга оборудования с целью:

1. **Мониторинг и диагностика оборудования.** Сбор и анализ данных с помощью сенсоров и устройств в режиме реального времени помогает оптимизировать работу электростанции. Можно получать данные о состоянии оборудования, напряжении, температуре и других параметрах, чтобы своевременно выявлять потенциальные проблемы и решать их до возникновения сбоев.

2. **Прогнозирование потребления энергии.** С помощью системы IoT можно прогнозировать потребление электроэнергии в реальном времени. Интеллектуальные счетчики могут собирать данные о потреблении энергии каждой домашней электроустановки в режиме реального времени, а затем передавать эти данные в облачное хранилище для дальнейшего анализа. Это помогает компаниям по электроэнергетике управлять энергосистемой и предсказывать изменения спроса на энергию.

3. **Оптимизация производительности.** С помощью IoT можно увеличивать производительность электростанции. Например, анализ данных может помочь определить эффективность работы определенных систем или устройств и выявить возможности для улучшения.



4. *Управление расходом энергоресурсов.* Система IoT помогает управлять расходом электроэнергии в промышленности. Например, в заводских условиях, можно устанавливать датчики температуры и влажности в зданиях, чтобы понимать, сколько энергии требуется на поддержание определенного уровня комфорта. Также можно контролировать ток и напряжение, применяемые на производстве, оптимизируя потребление энергоресурсов и сокращая расходы.

5. *Предотвращение аварий.* Система IoT может использоваться для предотвращения аварий и повреждений оборудования. С помощью датчиков можно контролировать температуру, давление и вибрацию, чтобы заранее определять возможные проблемы в работе оборудования. Кроме того, система помогает производителям электроэнергии автоматически перенаправлять ток на более надежные линии в случае обнаружения неисправности.

### **1.2.3. Примеры использования IoT на теплоэлектростанциях в России**

Увеличение производительности ТЭЦ-2 в г. Новочеркасск: в 2019 году станция установила IoT-систему контроля ремонта турбин, которая мониторит данные и определяет наличие сбоев и проблем на ранних этапах, таким образом количество отказов сократилось на 30%, а эффективность работы увеличилась на 5%.

Оптимизация процессов передачи данных ТЭЦ-26 в г. Москва: с помощью IoT-системы был реализован мониторинг и управление энергосистемами станции, что позволило сократить время на передачу данных на 2-3 минуты, а в случае аварийных ситуаций – на несколько секунд.

Контроль качества воздуха на ТЭЦ-5 в г. Новосибирск: система IoT была установлена для мониторинга качества воздуха вокруг станции и уменьшения негативного влияния на окружающую среду, благодаря чему качество воздуха улучшилось на 12%, а число жалоб обусловленных выбросами ТЭЦ уменьшилось на 35%.

Применение IoT-платформы "Самсон-НЭТ" на ТЭЦ-24 в Санкт-Петербурге: Система позволяет мониторить 2000 параметров работы станции

в режиме реального времени. Благодаря использованию IoT удалось уменьшить количество отказов оборудования на 25% и сократить расходы на ремонт на 20%.

Внедрение IoT-систем на ТЭЦ-20 в Москве: Мониторинг позволил определить скрытые дефекты оборудования, что привело к снижению количества аварий и повысило надежность работы оборудования. В результате использования IoT удалось сократить время простоя оборудования на 17% и уменьшить затраты на ремонт на 15%.

Внедрение IoT-платформы "Эбикон Кубань" на ТЭЦ Краснодарского края: Система позволяет мониторить работу оборудования и определять оптимальный режим работы, что уменьшило затраты на энергопотребление на 8%. Кроме того, использование IoT-технологий увеличило производительность станции на 10%.

Применение IoT-платформы "SAS Analytics" на ТЭЦ ОАО "Мосэнерго": IoT-системы используются для определения причин нештатных ситуаций и ускорения реакции персонала на них. Благодаря применению IoT удалось снизить количество аварий на 16% и уменьшить простой оборудования на 12%.

В целом, применение IoT на тепловых электростанциях в России позволяет снижать затраты на ремонт оборудования, повышать надежность и безопасность работы станций, а также улучшать эффективность производства. Результаты внедрения IoT на каждой конкретной станции могут быть разными в зависимости от характеристик оборудования и условий работы, но в целом использование этих технологий приносит положительный экономический эффект.

#### **1.2.4. Методы для осуществления прогнозирования**

Подразделим методы машинного обучения на несколько групп:

1. Методы машинного обучения для управления производственными процессами - включают в себя методы для оптимизации производственного процесса, например, настройку параметров оборудования, мониторинг и

исправление неисправностей и анализ причин отказов. К таким методам можно отнести обучение с учителем, обучение без учителя и обучение на основе подкрепления.

2. Методы машинного обучения для анализа и обработки данных - включают в себя методы для анализа больших объемов данных, выявления скрытых зависимостей и трендов и прогнозирования будущих значений. К таким методам можно отнести регрессионный анализ, анализ временных рядов, кластерный анализ и обучение глубоких нейронных сетей.

3. Методы машинного обучения для мониторинга и диагностики оборудования - включают в себя методы для мониторинга параметров, определения состояния и определения неисправностей оборудования. К таким методам можно отнести методы мониторинга и диагностики состояния, методы обнаружения аномалий и обучение классификаторов.

4. Методы машинного обучения для предиктивного управления - включают в себя методы для предсказания будущих значений параметров и определения оптимальных управляющих воздействий. К таким методам можно отнести предсказательное моделирование, обучение на основе подкрепления или генетические алгоритмы.

5. Методы машинного обучения для оптимизации эффективности производственных процессов - включают в себя методы для оптимизации параметров, управляющих воздействий и частоты обслуживания оборудования, с целью повышения эффективности производственного процесса. К таким методам можно отнести оптимизацию параметров методом искусственного интеллекта (AI) и оптимизацию методом математического моделирования.

### **1.3. Цифровой двойник (Digital Twin)**

- это виртуальная интерактивная копия реального физического объекта или процесса, которая помогает эффективно управлять им. Например, цифровой двойник предприятия позволяет моделировать расположение оборудования, перемещение сотрудников, рабочие процессы и внештатные ситуации.

Именно интерактивность отличает понятие цифрового двойника от термина "информационная модель изделия" (ИМИ). В отличие от ИМИ, цифровой двойник не ограничивается сбором данных, полученных во время разработки и изготовления продукта, а продолжает собирать и анализировать информацию в течение всего жизненного цикла реального объекта, например, с помощью устройств IoT.

По данным Gartner, 12% компаний, которые используют интернет вещей, также применяют и цифровые двойники, а 62% планируют это сделать. GE Digital в 2019 году называла цифру в 1,2 млн цифровых двойников в мире. По другим прогнозам, в ближайшие пару лет рынок цифровых двойников достигнет \$16 млрд. А согласно аналитическим данным MarketsandMarkets, ожидается, что мировой рынок цифровых двойников достигнет \$35.8 млрд в 2025 году, с CAGR (годовой темп роста) 45,4% с 2020 по 2025 год.

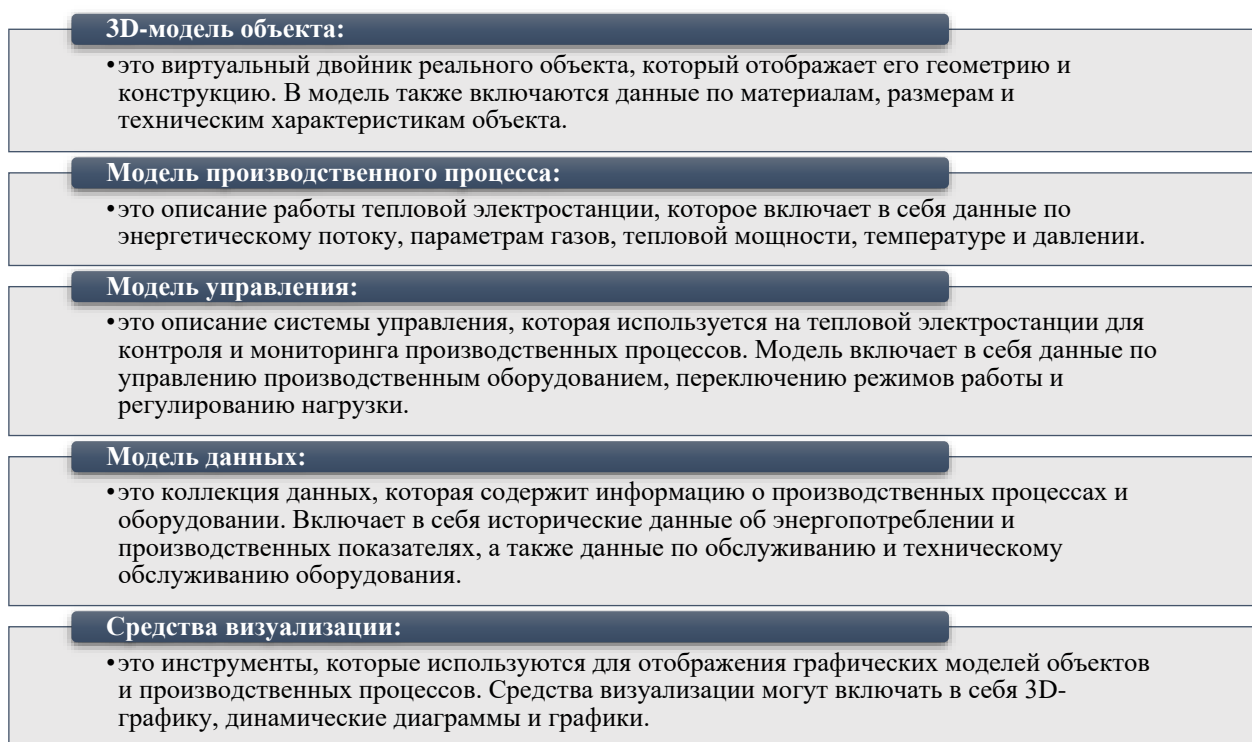


Рисунок 3 - Составляющие DT

### 1.3.1. Предназначение цифровые двойники

Цифровые двойники на тепловых электростанциях могут помочь с несколькими задачами, которые не решаются с помощью IoT с Big Data. Некоторые такие задачи включают:

**1. Создание и тестирование сценариев:** цифровые двойники могут использоваться для создания и тестирования различных сценариев, которые могут повлиять на работу электростанции или оборудования. Например, они могут использоваться для определения эффективности разнообразных политик в управлении энергопроизводством.

**2. Оптимизация процессов:** цифровые двойники на электростанциях могут помочь в оптимизации производственных процессов. Они могут использоваться для выявления областей, где можно сократить расходы или повысить эффективность. Например, они могут помочь в точном регулировании производственного процесса и регулировании нагрузки электростанции.

**3. Анализ слабых мест:** цифровые двойники на тепловых электростанциях могут помочь выявить слабые места в производственном цикле, которые могут замедлять работу или приводить к непредвиденным сбоям. Они могут использоваться для определения, где требуется наращивать емкость или регулировать производственные процессы.

**4. Управление рисками:** цифровые двойники могут помочь в достижении роста безопасности и управлении рисками создания электроэнергии. Они могут использоваться для обнаружения потенциальных опасностей и для разработки соответствующих стратегий по их устранению или снижению.

**5. Сохранение и восстановление данных:** цифровые двойники сохраняют точные копии физических объектов и процессов на электростанции. При отказе оборудования или явлении аварийной ситуации они могут использоваться для восстановления утраченных данных и объектов виртуальной модели.

### **1.3.2. Примеры использования ДТ на теплоэлектростанциях в России**

Один из примеров использования цифровых двойников на тепловых электростанциях в России - это проект «Цифровая теплоэлектростанция» на

базе Ярославской ГРЭС-2, который был реализован компанией Siemens в 2018 году.

В рамках проекта была создана цифровая модель объекта, которая позволила оптимизировать производственные процессы и управление оборудованием на станции. Была применена система автоматического управления, основанная на данных с цифрового двойника объекта, что позволило увеличить эффективность работы станции и снизить затраты.

Конкретные результаты проекта были следующими:

- Увеличение производительности электростанции на 1,5%.
- Снижение потребления газа на 2,5%.
- Сокращение времени наладки производственных процессов на 10%.
- Снижение эксплуатационных расходов на 2%.

Ещё одним примером применения цифровых двойников на тепловых электростанциях в России является проект компании «Технологический Альянс» на базе Каменской ГРЭС. В рамках проекта был создан цифровой двойник на базе платформы MindSphere (которая разработана Siemens), который отображает данные с оборудования станции и анализирует их с помощью алгоритмов искусственного интеллекта.

Результаты проекта, опубликованные компанией «Технологический Альянс», показывают следующие показатели:

- Увеличение надежности оборудования на 30% благодаря раннему обнаружению скрытых проблем.
- Сокращение времени простоя оборудования на 25% за счёт более точной диагностики неисправностей.
- Снижение затрат на ремонт оборудования на 15% за счёт определения наиболее эффективных способов ремонта.

Ещё одним примером применения цифровых двойников на тепловых электростанциях в России является использование такой технологии на Коми-Пермяцкой ГРЭС компании RUGRIDS-Energo. Данный проект также базируется на платформе MindSphere и основан на создании двойника с

использованием данных от различных датчиков, которые следят за работой оборудования на станции.

Результаты применения цифрового двойника на Коми-Пермяцкой ГРЭС:

- Снижение расходов на электроэнергию на 2,5%.
- Снижение расходов на топливо на 3%.
- Сокращение простоя оборудования на 5-7 дней в году.
- Повышение эффективности работы оборудования на 2%.

### **1.3.3. Методы и алгоритмы для моделирования цифрового двойника**

Существует множество методов и алгоритмов, которые могут использоваться для моделирования цифровых двойников. Выбор конкретного подхода зависит от целей моделирования и технических особенностей объекта. Некоторые из наиболее распространенных методов включают в себя:

1. Математическое моделирование - это создание математических уравнений, которые описывают поведение технической системы. Существуют различные алгоритмы и методы решения уравнений, такие как элементарными методами, метод конечных элементов, метод конечных разностей и другие.

2. Имитационное моделирование - это метод, который использует компьютерные программы для имитации реальных процессов и событий. Имитационное моделирование может быть использовано для описания таких систем, как производства, многопоточных распределенных вычислительных систем или крупномасштабных инфраструктурных проектов.

3. Машинное обучение - это метод, в котором компьютерная программа проводит анализ данных, используя различные алгоритмы, и использует эту информацию для создания модели. Машинное обучение может использоваться для создания ассоциативных моделей, моделей кластеризации.

4. Сети Петри - это математический метод, который используется для моделирования и анализа производственных процессов. Сети Петри представляют собой графическое представление процессов, которые могут происходить в системе. Они состоят из узлов (мест) и переходов. Места

представляют собой ресурсы или состояния системы, а переходы - действия, которые могут произойти в системе. Связи между узлами и переходами определяют, какие действия могут произойти и какие ресурсы могут быть использованы.

Время, затрачиваемое на разработку и тестирование модели, может сильно отличаться в зависимости от сложности объекта и используемого метода моделирования. Разработка математических моделей может занять от нескольких дней до нескольких месяцев, в зависимости от того, насколько точными и подробными должны быть результаты моделирования. Тестирование модели производится для проверки ее точности и соответствия реальности. Для этого используются различные методы, например, сравнение поведения модели с наблюдаемыми данными и анализ результатов моделирования в различных условиях.

Таблица 1 – Достоинства и недостатки математического моделирования

<b>Математическое моделирование</b>	
<b>Достоинства</b>	<b>Недостатки</b>
<p>1. Математические модели более точны и предсказуемы, чем другие методы моделирования.</p> <p>2. Этот метод обычно требует меньше вычислительной мощности, чем другие методы моделирования, и может быть более эффективным для больших моделей.</p> <p>3. Можно использовать стандартизированные математические модели, которые могут быть повторно использованы в различных задачах</p>	<p>1. Математические модели могут быть очень сложными и трудными для понимания.</p> <p>2. Моделирующие уравнения могут содержать упрощающие предположения, что может привести к неточным результатам.</p> <p>3. Некоторые объекты сложно описать математически.</p>



Таблица 2 – Достоинства и недостатки имитационного моделирования

<b>Имитационное моделирование</b>	
<b>Достоинства</b>	<b>Недостатки</b>
<p>1. Имитационное моделирование может предоставить более точные результаты, чем математическое моделирование, особенно если в модель включены данные с реальных объектов</p> <p>2. Модель может быть создана на основе работы системы при условии выполнения заданной функциональности</p>	<p>1. Имитационное моделирование может быть более ресурсоемким, чем математическое моделирование</p> <p>2. Создание точной модели может быть сложным, особенно если система интегрируется из разных компонентов</p> <p>3. Результаты из имитационной модели могут зависеть от значений параметров, что может сделать модель неустойчивой</p>

Таблица 3 – Достоинства и недостатки машинного обучения

<b>Машинное обучение</b>	
<b>Достоинства</b>	<b>Недостатки</b>
<p>1. Машинное обучение может использоваться для создания модели по данным, которые не являются математическими</p> <p>2. Модель может использоваться для создания более точного цифрового двойника</p> <p>3. Модель может быть автоматически улучшена при добавлении новых данных</p>	<p>1. Требуется много данных для обучения модели</p> <p>2. Результаты могут зависеть от выбора алгоритмов обучения</p> <p>3. Создание модели может быть долгим процессом, особенно если необходимо использование сложных алгоритмов</p>

Таблица 4 – Достоинства и недостатки сети Петри

<b>Сети Петри</b>	
<b>Достоинства</b>	<b>Недостатки</b>
<p>1. Данные модели позволяют описывать системы с параллельными процессами.</p> <p>2. Модель может быть очень простой и интуитивно понятной</p>	<p>1. Модель может быть ограничена в возможностях описания системы с большим количеством событий.</p> <p>2. Модель может быть сложной, особенно если необходимо включение состояний на разных уровнях детализации</p> <p>3. Модель может стать неустойчивой, если не правильно определены параметры и связи между ними</p>

### 1.3.4. Обработка полученных данных

Обработка данных - это процесс преобразования сырых данных в понятную и полезную информацию при использовании соответствующих алгоритмов и инструментов.

#### Данные

- о работе оборудования: Это включает в себя информацию о температуре, давлении, вибрациях и других параметрах, которые отслеживаются датчиками на оборудовании. Такие данные позволяют определять, когда и какое оборудование нуждается в ремонте или замене.
- о производительности: Это включает в себя информацию о производственных показателях, таких как количество энергии, произведенной тепловой электростанцией, и расход топлива. При помощи этих данных можно оптимизировать работу тепловой электростанции и увеличить ее эффективность.
- о безопасности: Это включает в себя информацию об аварийных ситуациях и других проблемах безопасности. К таким данным относится, например, информация о сработке систем автоматического пожаротушения или системы эвакуации персонала.
- о стоимости эксплуатации: Это включает в себя информацию о затратах на топливо, ремонт и обслуживание оборудования. При помощи этих данных можно определить, какие процессы можно оптимизировать, чтобы снизить затраты на эксплуатацию.
- о сохранности окружающей среды: Это включает в себя информацию о выбросах вредных веществ и других параметрах, которые влияют на окружающую среду. При помощи этих данных можно оптимизировать работу тепловой электростанции и снизить ее воздействие на окружающую среду.
- о планировании производства: Это включает в себя информацию о планируемой загрузке тепловой электростанции и прогнозировании затрат на топливо. Эти данные могут быть использованы для оптимизации производства и планирования работы тепловой электростанции.

Рисунок 4 - Информация, которую собирает цифровой двойник

Чтобы создать цифровой двойник объекта или процесса, собранные данные сначала обрабатываются и приводятся к нужному формату, затем различные алгоритмы используются для анализа и интерпретации данных. Этот процесс может включать следующие этапы:

**1. Предварительная обработка данных:** на этом этапе происходит очистка и фильтрация данных, избавление от ошибок, аномалий и шума, корректировка и приведение данных в соответствующий формат.

Наиболее распространенные методы очистки и фильтрации данных:

- Удаление дубликатов. Этот шаг относится к самым простым методам очистки данных. Он заключается в выявлении и удалении строк с повторяющимися значениями.
- Обнаружение и удаление выбросов. При анализе данных могут быть обнаружены выбросы, которые могут возникнуть из-за ошибок

измерения или других факторов. Выбросы могут исказить результаты анализа, поэтому их нужно обнаружить и удалить или отфильтровать.

- **Обработка пропущенных значений.** Пропущенные значения могут возникать из-за неполных данных, ошибок записи или других факторов. Пропущенные значения могут исказить результаты анализа данных, поэтому их нужно обработать. Это может включать замену пропущенных значений на среднее или медианное значение, заполнение пропущенных значений, на основе связанных данных и другие методы.

- **Избавление от шума.** Шум - это случайные значения, которые не имеют никакого отношения к целевым данным. Шум можно удалить, используя фильтры низких и высоких частот, сглаживание, фильтры скользящего среднего и другие методы.

- **Корректировка формата данных.** Данные могут быть представлены в разных форматах, которые могут усложнить их анализ или сравнение. Данные могут быть сконвертированы в единый формат, например, даты могут быть сконвертированы в единый формат времени, чтобы стать сопоставимыми.

- **Обработка ошибок и аномалий.** Чтобы исключить ошибки данных, необходимо проверить их на наличие необычных значений и сравнить с другими данными. Ошибки данных могут быть связаны с некорректным заполнением форм и ошибками сбора информации.

Очистка данных - это важный этап, который позволяет убедиться в точности и полноте данных перед их анализом и предоставлением для дальнейшей обработки.

**2. Обработка и анализ данных:** после предварительной обработки данные могут быть анализированы и обработаны с помощью различных алгоритмов машинного обучения или статистических методов. Например, можно использовать алгоритмы классификации, кластеризации, регрессионного анализа, прогнозирования.

- Алгоритмы классификации - применяются для разделения данных на группы с общими признаками. Эти алгоритмы могут использоваться для обнаружения аномалий, наблюдение за качеством продукта и других процессов, а также для предсказания будущих результатов в зависимости от входных данных.

Например, в случае тепловых электростанций, алгоритмы классификации могут использоваться для определения состояния конкретного оборудования (например, турбин, насосов), где входные данные могут быть замераами температуры, давления и других параметров работы оборудования. После обработки эти данные классифицируются на соответствующие группы, что позволяет операторам получение более детальной информации о состоянии оборудования и предотвращения возможных сбоев.

- Алгоритмы кластеризации - применяются для группировки данных в кластеры с общими характеристиками. Эти алгоритмы используются для обработки больших объемов данных и помогают обнаруживать скрытые образцы в процессах и оборудовании.

- Регрессионный анализ - помогает определить связь между входными параметрами и их влиянием на конечные результаты. Эти алгоритмы наиболее часто используются для предсказания будущих результатов на основе имеющихся входных данных. В случае тепловых электростанций, регрессионный анализ может использоваться для оценки прогнозируемых мощностей при различных режимах работы станции.

- Алгоритмы прогнозирования - предназначены для предсказания будущих результатов на основе имеющихся данных и анализе исторических данных. Используются для прогнозирования спроса на энергию на следующий день, неделю или месяц, что позволяет оптимизировать производство энергии и сохранить ресурсы.

**3. Визуализация данных:** визуализация данных помогает в понимании полученных результатов анализа. С помощью графиков, диаграмм, таблиц, карт и других визуальных представлений данных можно выявлять

закономерности, тренды, выбросы и другие особенности, скрытые в наборе данных.

**4. Интерпретация результатов:** на этом этапе полученные результаты анализа могут быть интерпретированы специалистами, которые затем могут использовать эти данные для принятия решений, оптимизации производственных процессов и предотвращения отказов оборудования.

Количество этапов может колебаться в зависимости от целей и задач проекта, а также от используемых инструментов и методов обработки данных. В целом, обработка данных - это ключевой этап процесса создания цифрового двойника, поскольку от качества и точности обработки данных зависит точность и надежность получаемых результатов.

## 2. Мероприятия по увеличению энергосбережения и энергоэффективности на тепловых электростанциях

В данном разделе предложены мероприятия, реализуемые посредством цифровизации, которые поспособствуют повышению энергосбережения и энергоэффективности на тепловых электростанциях.

### 2.1. IoT

Перед тем как приступить к разработке мероприятий составим блок-схему рабочих процессов IoT, для того что бы лучше представлять, работу интернет вещей.

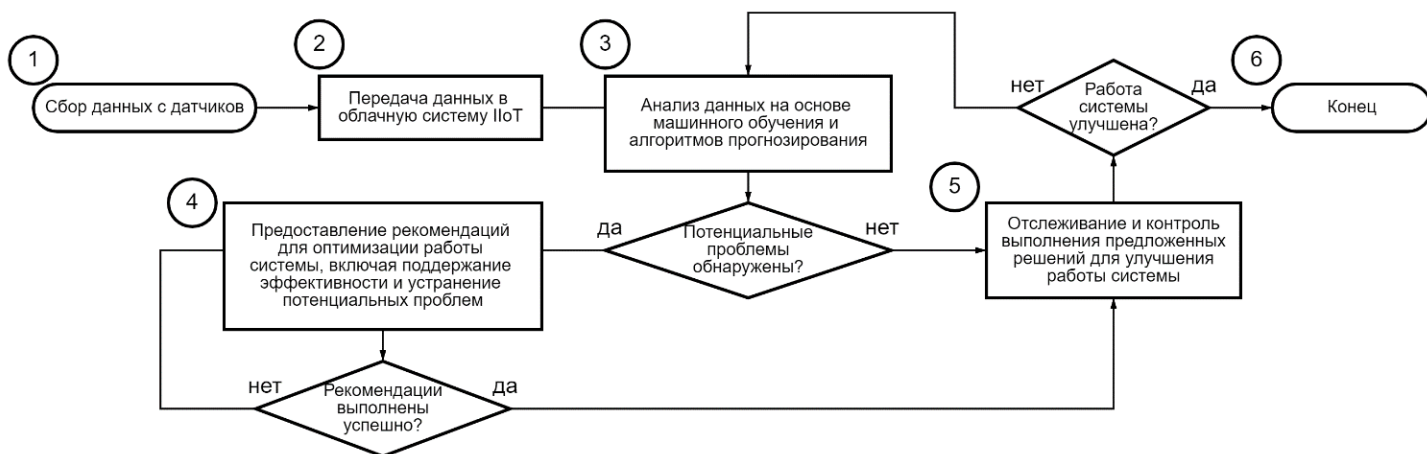


Рисунок 5 - Блок-схема работы IoT

## **Мероприятия по введению IoT на тепловую электростанцию:**

В первую очередь, разработаем мероприятия по введению самой технологии IoT на тепловую электростанцию.

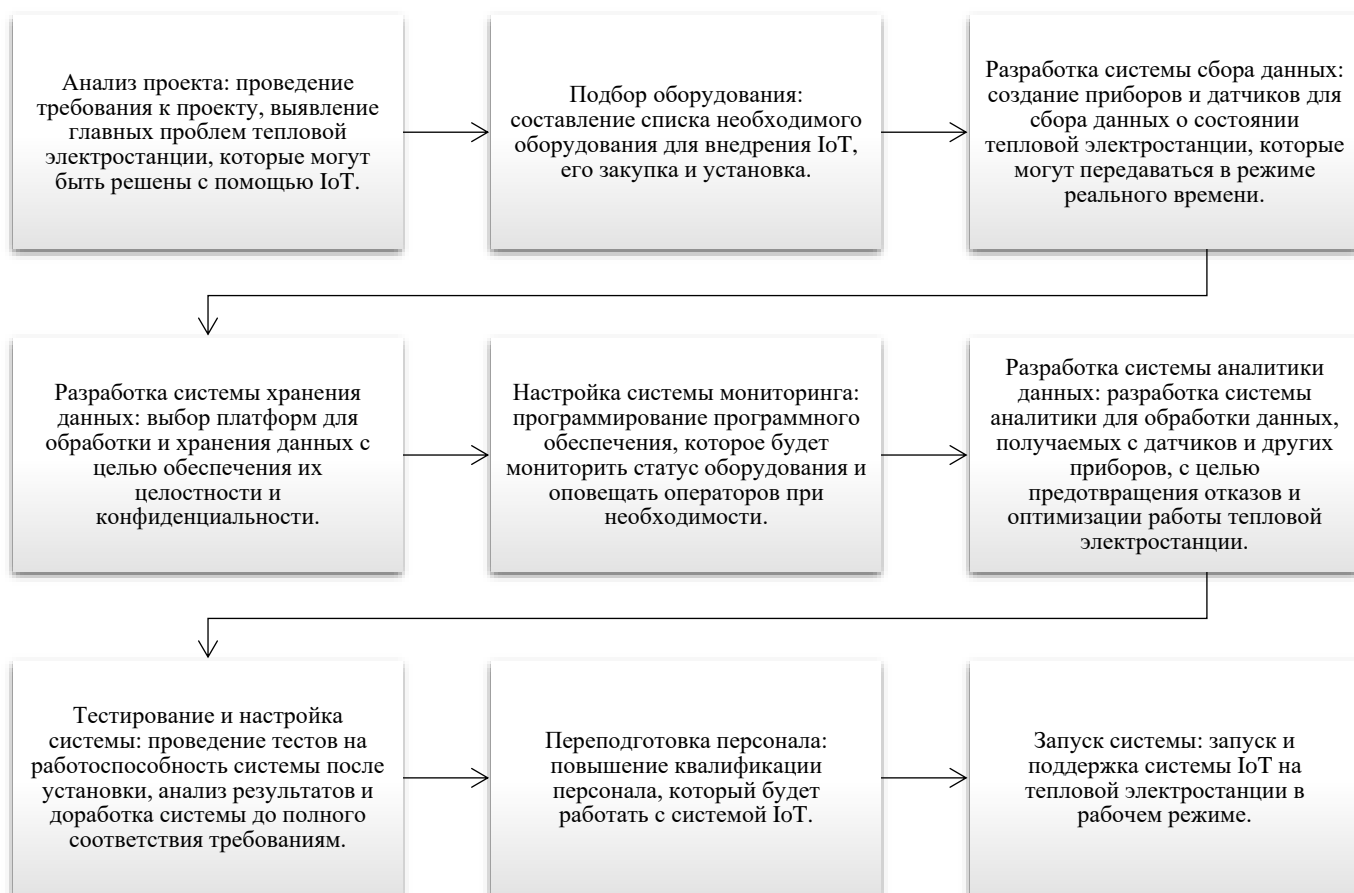


Рисунок 6 - Мероприятия по введению IoT на тепловую электростанцию

Очень важно, чтобы каждый этап был хорошо продуман и отработан, чтобы система IoT была максимально эффективной и соответствовала требованиям.

### **IoT мероприятия по увеличению энергоэффективности и энергосбережения:**

1. **Мониторинг энергопотребления:** с помощью датчиков можно следить за потреблением энергии на каждом этапе производства на электростанции. Эти данные могут использоваться для анализа и предсказания производственного процесса, а также для определения эффективности определенных процедур и изменения их в зависимости от потребления энергии.

Таблица 5 – Мероприятия по мониторингу энергопотребления

<b>Мониторинг энергопотребления</b>	
<b>№</b>	<b>Мероприятия</b>
1	Установка датчиков на оборудование: Это позволит отслеживать энергопотребление в реальном времени и определять потенциальные проблемы, такие как утечки воздуха или воды, и сразу же реагировать на них.
2	Установка счетчиков энергопотребления: Счетчики энергопотребления могут быть установлены на различных участках электростанции, таких как трансформаторные подстанции и генераторы. Это позволит точно измерять потребление энергии, а также отслеживать и сравнивать потребление энергии на различных участках электростанции.
3	Установка системы мониторинга энергопотребления: Система мониторинга энергопотребления позволит собирать данные с датчиков и счетчиков энергопотребления, а затем анализировать их. Это позволит определить, какие процессы потребляют больше энергии, и где можно сэкономить энергию.
4	Установка системы управления энергопотреблением: Система управления энергопотреблением позволит автоматически управлять потреблением энергии на электростанции.

Таким образом система управления энергопотреблением может снизить потребление энергии на тепловой электростанции путем регулирования нагрузки на оборудование и настройки его работы в зависимости от актуальных потребностей. Например, система может контролировать и изменять скорость двигателей и насосных станций, корректировать силу тока, включать и выключать нагрузки, плавно изменять давление и температуру на определенных участках.

Система может снизить энергопотребление на электростанции, замедлив или выключив некоторые процессы, при этом не нарушив при этом поддержание необходимой мощности и обеспечивая безопасность работы электростанции. Это обеспечивает максимальную эффективность потребления энергии на электростанции и снижение рисков необходимости дополнительной регулировки нагрузки или обеспечения дополнительной энергии.

2. **Анализ данных:** собранные данные полученные от IoT-датчиков, с помощью алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта могут помочь выявить скрытые зависимости, способные указывать на неэффективность работы оборудования или неоптимальные условия производства.

Таблица 6 – Мероприятия по анализу данных

<b>Анализ данных</b>	
<b>№</b>	<b>Мероприятия</b>
1	Применение алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта для анализа и обработки полученных данных.
2	Разработка системы мониторинга и управления производственными процессами на основе анализа полученных данных.
3	Определение неэффективных процессов и оборудования на основе анализа данных и разработка плана их улучшения.
4	Внедрение системы автоматического управления производственными процессами на основе анализа данных.

Примерами неэффективности работы оборудования на тепловых электростанциях могут включать высокий уровень энергопотребления, слабую эффективность процессов охлаждения или нагрева, неоптимальное использование ресурсов.

На основе анализа данных, можно выявить формулы, которые будут определять, когда и какое оборудование следует включать и выключать, чтобы снизить потребление энергии. Кроме того, с помощью IoT-датчиков можно следить за параметрами производства, такие как температура, влажность и давление, и осуществлять корректировку данных параметров, чтобы улучшить эффективность производственных процессов. В итоге, система управления энергопотреблением и IoT-датчики помогут оптимизировать работу оборудования на тепловых электростанциях и улучшить условия производства.

3. **Управление и контроль системы вентиляции и кондиционирования:** установка датчиков и сенсоров, позволяет автоматически управлять и контролировать системы вентиляции и



кондиционирования. Это позволяет значительно снизить потребление энергии и обеспечить оптимальную температуру в производственных помещениях.

Таблица 7 – Мероприятия по управлению и контролю системы вентиляции и кондиционирования

<b>Управление и контроль системы вентиляции и кондиционирования</b>	
<b>№</b>	<b>Мероприятия</b>
1	Установка датчиков температуры и влажности в производственных помещениях, которые будут собирать данные и передавать их в систему управления.
2	Разработка алгоритмов, которые будут управлять системой вентиляции и кондиционирования на основе данных, полученных от датчиков.
3	Установка системы, которая будет автоматически регулировать температуру и влажность в производственных помещениях на основе полученных данных.
4	Разработка системы мониторинга и контроля, которая будет следить за работой системы вентиляции и кондиционирования.
5	Установка системы оповещения, которая будет автоматически сообщать о проблемах в работе системы вентиляции и кондиционирования, чтобы операторы могли быстро реагировать и устранять проблемы.

Стандартная система вентиляции и кондиционирования работает круглосуточно без учёта каких бы то ни было параметров, что приводит к неэффективному использованию энергии и излишнему потреблению.

Однако используя IoT-датчики, система будет собирать данные о температуре и влажности воздуха на тепловой электростанции. На основе этой информации система будет регулировать работу системы вентиляции и кондиционирования, чтобы поддерживать оптимальный комфортный климат в помещениях и снизить расходы на энергию. Например, если датчики заметят, что температура в помещении поднимается, система автоматически включит кондиционер, чтобы снизить температуру до оптимального уровня. Это позволит снизить износ оборудования, увеличить его срок службы и снизить расходы на энергию.

**4. Оптимизация освещения:** установка датчиков движения, тепла и освещённости окружающей среды, может привести к существенной экономии энергии, так как подсветка будет включаться только при необходимости.

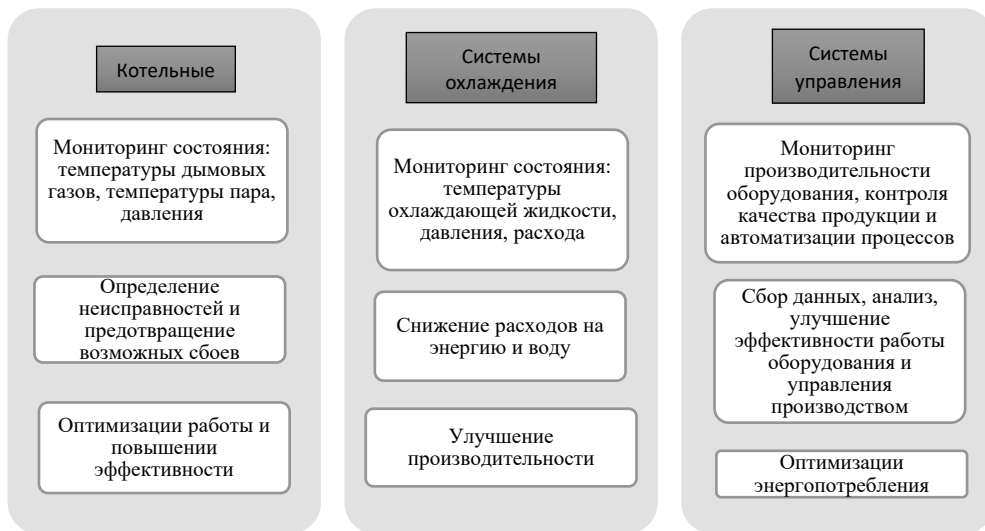
Таблица 8 – Мероприятия по оптимизации освещения

<b>Оптимизация освещения</b>
<b>Мероприятия</b>
<p>Управление освещением на основе присутствия людей: датчики движения и тепла могут быть установлены на тепловой электростанции, чтобы определять наличие людей в определенной зоне. Система управления освещением может автоматически включать и выключать светильники в зависимости от наличия людей в помещении, чтобы сократить излишнее использование энергии.</p>
<p>Автоматическое управление освещением в зависимости от окружающей освещенности: датчики освещенности могут быть установлены на электростанции для определения текущего уровня естественного света в помещении. Система управления освещением может использовать эти данные, чтобы автоматически регулировать яркость света в зависимости от текущих условий и снижать потребление энергии.</p>
<p>Отчеты и аналитика потребления энергии: IoT-система на тепловой электростанции может собирать данные об использовании электроэнергии в определенных зонах объекта. Эти данные могут быть анализированы, чтобы выявить зоны, где используется слишком много энергии, и принять меры по оптимизации работы светильников и сокращению потребления энергии.</p>

**5. Отслеживание состояния оборудования:** мониторинг состояния технических устройств и оборудования с помощью IoT позволяет предсказать возможное обрушение систем и запланировать профилактические ремонтные работы, что может значительно сэкономить энергию и время на ремонт.



Рисунок 7 - Примеры использования IoT в оборудовании на тепловых электростанциях



Продолжение рисунка 7

## 2.2. Цифровые двойники

Аналогично, составим блок-схему рабочих процессов для DT

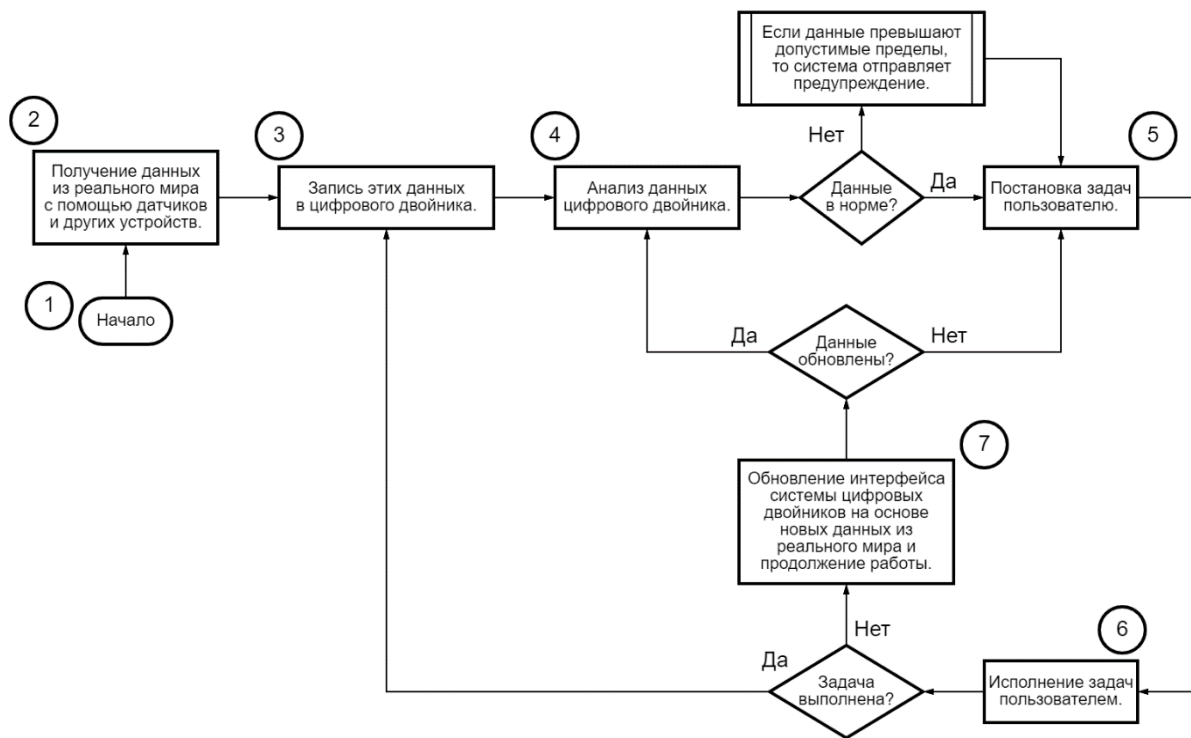


Рисунок 8 - Блок-схема работы DT

## ***Мероприятия по введению DT на тепловую электростанцию.***



Рисунок 9 - Мероприятия по введению DT на тепловую электростанцию

### ***DT мероприятия по увеличению энергоэффективности и энергосбережения:***

**1. Моделирование производственных процессов:** Создание цифрового двойника тепловой электростанции позволит моделировать производственные процессы в режиме реального времени. Это поможет оптимизировать производственные процессы, выявлять проблемы и улучшать эффективность работы оборудования.

Таблица 9 – Мероприятия по моделированию производственных процессов

<b>Моделирование производственных процессов</b>	
<b>№</b>	<b>Мероприятия</b>
1	Моделирование производственных процессов на базе цифрового двойника и анализ полученных данных для оптимизации работы станции и повышения эффективности оборудования.
2	Обучение операторов тепловой электростанции работе с цифровыми двойниками и моделированию производственных процессов.
3	Внедрение систем автоматического управления на основе полученных данных для оптимизации работы станции и повышения эффективности оборудования.
4	Организация мониторинга и анализа данных, полученных цифровым двойником, для выявления возможных проблем и предотвращения аварийных ситуаций.
5	Проведение регулярного технического обслуживания оборудования с учетом данных, полученных от цифровых двойников.
6	Внедрение системы мониторинга и анализа данных, включая данные от цифровых двойников, для управления ресурсами и повышения эффективности работы тепловой электростанции.

Примеры неэффективной работы тепловой электростанции:

1. Неправильная настройка оборудования, что может привести к избыточному потреблению энергии и повышенным затратам на обслуживание.

2. Перегрузка оборудования, что может привести к снижению производительности и аварийным ситуациям.

3. Неправильное управление производственными процессами, что может привести к неэффективному использованию ресурсов и снижению производительности.

Цифровой двойник тепловой электростанции может решить эти проблемы, предоставляя операторам и инженерам возможность моделировать производственные процессы в режиме реального времени и анализировать данные.

**2. Управление расходами на топливо:** Использование цифрового двойника позволит оптимизировать расход топлива на тепловой электростанции. Цифровой двойник может использоваться для

моделирования процессов сжигания топлива и выявления оптимальных режимов работы оборудования.

Таблица 10 – Мероприятия по управлению расходами на топливо

<b>Управление расходами на топливо:</b>	
<b>№</b>	<b>Мероприятия</b>
1	Установка датчиков и сенсоров в зоне сжигания топлива для сбора данных о температуре, давлении, концентрации кислорода и других параметрах.
2	Моделирование процессов сжигания топлива на базе цифрового двойника для оптимизации расхода топлива.
3	Анализ данных, полученных цифровым двойником, для выявления оптимальных режимов работы оборудования и повышения эффективности сжигания топлива.
4	Создание систем автоматического управления расходом топлива на основе цифрового двойника и полученных данных.
5	Обучение операторов тепловой электростанции работе с цифровыми двойниками и системами управления расходом топлива.
6	Организация мониторинга и анализа данных, полученных от цифровых двойников, для оптимизации работы тепловой электростанции и управления расходами на топливо.
7	Проведение регулярного технического обслуживания оборудования с учетом данных, полученных от цифровых двойников и систем управления расходом топлива.

Если на тепловой электростанции сжигается слишком много топлива, это может привести к избыточному нагреву и повреждению оборудования, а также к дополнительным расходам на закупку топлива. С другой стороны, недостаточный расход топлива может привести к снижению эффективности работы станции и ухудшению качества производимой электроэнергии.

В результате установки датчиков и сенсоров в зоне сжигания топлива, а также моделирования процессов сжигания топлива на базе цифрового двойника, можно выявить оптимальные режимы работы оборудования и создать системы автоматического управления расходом топлива на основе полученных данных.

**3. Управление множеством объектов:** Цифровые двойники могут быть использованы для управления множеством объектов, таких как электростанции и подстанции. Например, они могут быть использованы для

автоматического управления нагрузкой, построения оптимальных маршрутов доставки энергии и прогнозирования изменений в спросе на энергию.

Таблица 11 – Мероприятия по управлению множеством объектов:

<b>Управление множеством объектов:</b>	
<b>№</b>	<b>Мероприятия</b>
1	Замена устаревших средств управления на современные, оснащенные цифровыми двойниками, способными обеспечить автоматическое управление нагрузкой.
2	Установка цифровых двойников на энергетических объектах, таких как подстанции, для автоматического контроля над производством и доставкой энергии.
3	Создание оптимальных маршрутов доставки энергии, основанных на прогнозировании спроса на энергию с помощью цифровых двойников.
4	Использование цифровых двойников для прогнозирования изменений в спросе на энергию и управления производственными мощностями соответственно.
5	Создание системы цифровых двойников для мониторинга работоспособности энергетических объектов и автоматического уведомления о возможных неисправностях.
6	Обучение персонала работе с цифровыми двойниками и принципами их работы для максимальной эффективности использования.

Цифровой двойник может использоваться для автоматического управления нагрузкой на электростанции и подстанциях. Это позволит оптимизировать потребление энергии и уменьшить затраты на ее производство. Важным преимуществом использования цифрового двойника является возможность прогнозирования изменений в спросе на энергию и управления производственными мощностями соответственно. Это позволит эффективно распределять ресурсы и уменьшить затраты на производство энергии.

### **3. Методика расчёта эффективности энергосберегающих мероприятий**

Эффективность энергосберегающих мероприятий определяется системой критериев, отражающих соотношение затрат на проведение мероприятий и результатов, получаемых на ТЭС от их осуществления.

### 3.1. Простые критерии эффективности

#### 3.1.1 Годовой прирост чистой прибыли

Годовой прирост чистой прибыли от внедрения мероприятия ( $\Delta\Pi_{\text{ч}}$ ) равен годовому приросту балансовой прибыли за вычетом платежей и налогов:

$$\Delta\Pi_{\text{ч}} = \Delta\Pi_{\text{б}} - \Delta\text{Н} \quad (1)$$

где  $\Delta\Pi_{\text{б}}$  – годовой прирост балансовой прибыли, руб.;

$\Delta\text{Н}$  – увеличение суммы установленных налогов и других платежей, руб./год.

Годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_{\text{б}}$  в общем виде определяется по выражению

$$\Delta\Pi_{\text{б}} = \Delta\text{Р} - \Delta\text{U}_{\text{сум}} \quad (2)$$

где  $\Delta\text{Р}$  – стоимостная оценка технико-экономических результатов осуществления мероприятия, руб./год:

$$\Delta\text{Р} = \Delta\text{В} \cdot \text{Ц}_{\text{т}} \quad (3)$$

где  $\Delta\text{В}$  – экономия топливно-энергетических ресурсов, т у.т.;

$\text{Ц}_{\text{т}}$  – средняя цена 1 т топлива в условном исчислении, руб.;

$\Delta\text{U}_{\text{сум}}$  – суммарный прирост годовых эксплуатационных издержек, вызванный осуществлением мероприятия, руб./год:

$$\Delta\text{U}_{\text{сум}} = \Delta\text{U}_{\text{ам}} + \Delta\text{U}_{\text{э}} \quad (4)$$

(в данном выражении  $\Delta\text{U}_{\text{ам}}$  – прирост амортизационных отчислений, руб./год;  $\Delta\text{U}_{\text{э}}$  – дополнительные годовые эксплуатационные издержки, вызванные осуществлением мероприятия, без амортизационных отчислений, руб./год).

Годовой прирост чистой прибыли  $\Delta\Pi_{\text{ч}}$  с учетом формулы (2) составляет

$$\Delta\Pi_{\text{ч}} = \Delta\text{Р} - \Delta\text{U}_{\text{сум}} - \Delta\text{Н} \quad (5)$$

Критерием эффективности мероприятия является условие

$$\Delta\Pi_{\text{ч}} > 0 \quad (6)$$



### **3.1.2 Срок окупаемости инвестиций**

Срок окупаемости инвестиций ( $T_{ок}$ ) – наименьший отрезок времени, в течение которого единовременные затраты на проведение мероприятия возмещаются за счет приростов чистой прибыли и амортизационных отчислений:

$$T_{ок} = \frac{K_m}{\Delta\Pi_{ч} + \Delta U_{ам}} \quad (7)$$

где  $K_m$  – капитальные вложения (единовременные затраты) на проведение мероприятия, руб.

Критерием эффективности мероприятия является неравенство

$$T_{ок} \leq T_{пр} \quad (8)$$

где  $T_{пр}$  – срок окупаемости, приемлемый для участвующих в финансировании мероприятия.

### **3.1.3 Выбор наиболее эффективных из нескольких намечаемых мероприятий**

Такой выбор производится по максимальным значениям чистой прибыли при приемлемом сроке окупаемости, т.е. ранжирование эффективных мероприятий производится по критерию

$$\Delta\Pi_{ч} \rightarrow \max \text{ при } T_{ок} \leq T_{пр} \quad (9)$$

## **3.2. Алгоритм расчета технико-экономических результатов энергосберегающих мероприятий на ТЭС**

В общем виде годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_б$  [см. формулу (2)] от мероприятия, дающего эффект непосредственно на электростанции, определяется по выражению

$$\Delta\Pi_б = \Delta B \text{ Ц}_т - \Delta U_{сум} \quad (10)$$

Годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_б$  [см. формулы (1) и (10)] от мероприятия, дающего, как правило, эффект в энергосистеме, определяется по выражению

$$\Delta\Pi_б = \Delta D + \Delta B \text{ Ц}_т - \Delta U_{сум} \quad (11)$$

где  $\Delta D$  – прирост выручки (дохода), руб.

### **3.2.1 Годовой прирост балансовой прибыли ТЭС от повышения КПД нетто котла**

Годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_6$  [см. формулы (2) и (10)] ТЭС от повышения КПД нетто котла происходит вследствие получаемой при этом экономии топлива и определяется по формуле

$$\Delta\Pi_6 = B \left( 1 - \frac{\eta_1}{\eta_2} \right) \Pi_T - \Delta U_{\text{сум}} \quad (12)$$

где  $B$  – годовой расход топлива (в условном исчислении) котлом до проведения энергосберегающего мероприятия, т у.т.;

$\eta_1$  и  $\eta_2$  – среднегодовые КПД котла нетто до и после проведения энергосберегающего мероприятия, %.

### **3.2.2 Годовой прирост балансовой прибыли ТЭС от снижения удельного расхода тепла брутто на турбину**

Годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_6$  [см. формулы (2) и (10)] на ТЭС от снижения удельного расхода тепла брутто на турбину определяется по формуле

$$\Delta\Pi_6 = B \left( 1 - \frac{q_2}{q_1} \right) - \Delta U_{\text{сум}} \quad (13)$$

где  $q_1$  и  $q_2$  – удельный расход тепла брутто на турбину соответственно до и после проведения энергосберегающего мероприятия, ккал/(кВт·ч).

### **3.2.3 Годовой прирост балансовой прибыли ТЭС от снижения расхода электроэнергии на собственные нужды**

Годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_6$  [см. формулы (2) и (10)] ТЭС от снижения расхода электроэнергии на собственные нужды при заданных электростанции графиках отпуска электроэнергии и тепла определяется по формуле

$$\Delta\Pi_6 = B_{\text{эл}} (W_{\text{сн1}} - W_{\text{сн2}}) \Pi_T - \Delta U_{\text{сум}} \quad (14)$$

где  $B_{\text{эл}}$  – среднегодовой удельный расход топлива на выработанную электроэнергию до проведения энергосберегающего мероприятия, г/(кВт·ч);

$W_{сн1}$  и  $W_{сн2}$  – годовой расход электроэнергии на собственные нужды электростанции соответственно до и после проведения энергосберегающего мероприятия, кВт·ч.

### **3.2.4 Годовой прирост балансовой прибыли от снижения потерь топлива на пуски энергоблока (агрегата) и предотвращения отказов оборудования**

#### ***3.2.4.1 Годовой прирост балансовой прибыли от снижения потерь топлива при пуске энергоблока (агрегата)***

Годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta Пб$  [см. формулы (2) и (10)] от снижения потерь топлива при пуске энергоблока (агрегата) определяется по формуле

$$\Delta Пб = (Вн - Вф) n_{п} z - \Delta U_{сум} \quad (15)$$

где  $Вн$  – норма пусковых потерь топлива в условном исчислении, т у.т.;

$Вф$  – фактические или расчетные пусковые потери топлива в условном исчислении, определяемые по этапам (для энергоблока: простой котла, подготовка к пуску, растопка котла, толчок турбины, нагружение до номинальной нагрузки, стабилизация режима работы), т у.т.;

$n_{п}$  – число пусков в году т;

$z$  – число однотипных энергоблоков (агрегатов), на которых осуществляется мероприятие.

#### ***3.2.4.2 Годовой прирост балансовой прибыли от предотвращения отказов (предотвращения внеплановых пусков) оборудования***

На электростанциях с поперечными связями годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta Пб$  [см. формулы (2) и (10)] от предотвращения отказов оборудования определяется по формуле

$$\Delta Пб = (В_{нкi} m_{ki} z_{ki} + В_{нтj} m_{tj} z_{tj}) Ц_{т} - \Delta U_{сум} \quad (16)$$

где  $В_{нкi}$  и  $В_{нтj}$  – нормы пусковых потерь топлива в условном исчислении при пуске соответственно котлов  $i$ -го и турбин  $j$ -го типа, т у.т.;

$m_{ki}$  и  $m_{tj}$  – предотвращенное число отказов (внеплановых пусков) соответственно котлов  $i$ -го и турбин  $j$ -го типа;

$Z_{ki}$  и  $Z_{Tj}$  – количество соответственно котлов  $i$ -го и турбин  $j$ -го типа.

На блочных электростанциях годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_b$  [см. формулы (2) и (10)] от предотвращения отказов оборудования определяется по формуле

$$\Delta\Pi_b = (\sum_{V_{нбi}} m_{бi}) Z_{бi} \Pi_T - \Delta U_{сум} \quad (17)$$

где  $V_{нбi}$  – норма пусковых потерь топлива в условном исчислении при пуске энергоблоков  $i$ -го типа, т у.т.;

$m_{бi}$  – предотвращенное число отказов (внеплановых пусков) энергоблоков  $i$ -го типа;

$Z_{бi}$  – количество энергоблоков  $i$ -го типа.

### **3.2.5 Годовой прирост балансовой прибыли вследствие увеличения электрической и тепловой мощности**

#### **Конденсационные электростанции**

##### **3.2.5.1 Годовой прирост балансовой прибыли вследствие увеличения мощности и отпуска электроэнергии**

а) **При наличии в энергосистеме резерва электрической мощности и энергии** годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_b$  [см. формулы (2) и (10)] определяется экономией топлива, достигаемой в результате перераспределения нагрузок между агрегатами электростанций:

$$\Delta\Pi_b = (V_{мэл} - V_{эл}) \Delta W_{отп} \Pi_T - \Delta U_{сум} \quad (18)$$

где  $V_{мэл}$  – удельный расход топлива на малоэкономичном агрегате энергосистемы, г/(кВт·ч);

$V_{эл}$  – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии с шин электростанции, на которой внедряется мероприятие, г/(кВт·ч);

$\Delta W_{отп}$  – количество дополнительно отпущенной электроэнергии в результате внедрения мероприятия, кВт·ч.

б) **При дефиците электрической мощности и энергии** годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_b$  [см. формулы (2) и (10)] в энергосистеме

складывается из прироста выручки от реализации дополнительного количества электроэнергии за вычетом стоимости израсходованного на нее топлива:

$$\Delta\Pi_6 = T_{\text{эл}} \Delta W_{\text{отп}} (1 - \beta_{\text{эл}}) - V_{\text{эл}} \Delta W_{\text{отп}} \text{Ц}_T - \Delta U_{\text{сум}} \quad (19)$$

где  $T_{\text{эл}}$  – средний тариф на электроэнергию в энергосистеме, руб./(кВт·ч);

$\beta_{\text{эл}}$  – коэффициент потерь энергии в электрических сетях.

### Теплоэлектроцентрали

#### *3.2.5.2 Годовой прирост балансовой прибыли вследствие увеличения тепловой мощности и энергии с увеличением электрической*

**а) При наличии в энергосистеме резерва электрической и тепловой мощности и энергии** годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_6$  [см. формулы (2) и (10)] выражается в экономии топлива вследствие перераспределения электрических и тепловых нагрузок между агрегатами энергосистемы:

$$\Delta\Pi_6 = [(V_{\text{мэл}} - V_{\text{эл}}) \Delta W_{\text{отп}} + (V_{\text{рез.т}} - V_T) \Delta Q_{\text{отп}}] \text{Ц}_T - \Delta U_{\text{сум}} \quad (20)$$

где  $V_{\text{рез.т}}$  и  $V_T$  – удельный расход топлива на отпуск тепла соответственно резервными источниками и ТЭЦ, на которой внедряется мероприятие, кг/Гкал;

$\Delta Q_{\text{отп}}$  – увеличение отпуска тепла ТЭЦ вследствие внедрения мероприятия, Гкал;

**б) При дефиците в энергосистеме электрической и тепловой мощности и энергии** годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_6$  [см. формулы (2) и (10)] выражается в увеличении выручки от реализации дополнительного количества электрической и тепловой энергии за вычетом связанных с этим дополнительных затрат на топливо:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_6 = & T_{\text{э}} \Delta W_{\text{отп}} (1 - \beta_{\text{эл}}) - (\Delta W_{\text{кн}} V_{\text{кн}} + \Delta W_{\text{тф}} V_{\text{тф}}) \text{Ц}_T + \\ & + T_T \Delta Q_{\text{отп}} (1 - \beta_T) - V_T \Delta Q_{\text{отп}} \text{Ц}_T - \Delta U_{\text{сум}} \end{aligned} \quad (21)$$

где  $V_{\text{кн}}$  и  $V_{\text{тф}}$  – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, выработанной соответственно по конденсационному и теплофикационному циклам, г/(кВт·ч);

$\Delta W_{\text{кн}}$  и  $\Delta W_{\text{тф}}$  – изменение годового отпуска электроэнергии от ТЭЦ, выработанной соответственно по конденсационному и теплофикационному циклам, кВт·ч;

где  $T_{\text{т}}$  – тариф на тепло, руб./Гкал;

$\beta_{\text{т}}$  – коэффициент потерь энергии в тепловых сетях.

### **3.2.6 Предотвращение снижения балансовой прибыли вследствие повышения надежности оборудования ТЭС**

#### **3.2.6.1 Предотвращение убытков (снижение балансовой прибыли) ТЭС, вызванных недоотпуском ТЭС электрической и тепловой энергии**

Предотвращение снижения балансовой прибыли в данном случае определяется аналогично выражениям (20 и 21):

##### **а) При наличии в энергосистеме резерва электрической и тепловой мощности и энергии**

$$\Delta \Pi'_6 = [(V_{\text{мэл}} - V_{\text{эл}}) \Delta W_{\text{нед}} + (V_{\text{рез.т}} - V_{\text{т}}) \Delta Q_{\text{нед}}] \Pi_{\text{т}} - \Delta U_{\text{сум}} \quad (22)$$

где  $\Delta W_{\text{нед}}$  и  $\Delta Q_{\text{нед}}$  – предотвращенные недоотпуски ТЭС электрической и тепловой энергии вследствие проведения мероприятия, направленного на повышение надежности оборудования (кВт·ч, Гкал), определяемые на основе статистических данных об отказах оборудования за ряд предшествующих лет и оценки воздействия мероприятия на сокращение отказов оборудования.

##### **б) При дефиците в энергосистеме электрической и тепловой мощности и энергии**

$$\begin{aligned} \Delta \Pi'_6 = & T_{\text{эл}} \Delta W_{\text{нед}} (1 - \beta_{\text{эл}}) - V_{\text{эл}} \Delta W_{\text{нед}} \Pi_{\text{т}} + \\ & + T_{\text{т}} \Delta Q_{\text{нед}} (1 - \beta_{\text{т}}) - V_{\text{т}} \Delta Q_{\text{нед}} \Pi_{\text{т}} - \Delta U_{\text{сум}} \end{aligned} \quad (23)$$

### **3.2.6.2 Предотвращение убытков (снижения балансовой прибыли) ТЭС, связанных с расходом топлива на внеплановые пуски**

Предотвращение снижения балансовой прибыли в данном случае определяется аналогично выражениям (16) и (17).

### **3.2.7 Годовой прирост балансовой прибыли вследствие увеличения продолжительности межремонтного периода**

#### **Конденсационные электростанции**

**а) При наличии в энергосистеме резерва электрической мощности и энергии** годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_b$  [см. формулы (2) и (10)] определяется по выражению

$$\Delta\Pi_b = \Delta n_{\text{рем}} (B_{\text{МЭЛ}} - B_{\text{ЭЛ}}) \Delta W_{\text{рем}} \text{Ц}_{\text{T}} - \Delta U_{\text{СУМ}} \quad (24)$$

где  $\Delta n_{\text{рем}}$  – сокращение числа ремонтов в расчете на один год в результате увеличения продолжительности межремонтного периода:

$$\Delta n_{\text{рем}} = \frac{1}{t_{\text{мрп1}}} - \frac{1}{t_{\text{мрп2}}} \quad (25)$$

(здесь  $t_{\text{мрп1}}$  и  $t_{\text{мрп2}}$  – продолжительность межремонтного периода до и после проведения мероприятия, лет);

$\Delta W_{\text{рем}}$  – количество электроэнергии, которое могло быть отпущено от КЭС, если бы не был выведен в году  $t$  агрегат (энергоблок) в капитальный ремонт, кВт·ч:

$$\Delta W_{\text{рем}} = \Delta N_{\text{расп}} t_{\text{рем.н}} (1 - \beta_{\text{сн.эл}}) \quad (26)$$

(в данной формуле  $\Delta N_{\text{расп}}$  – снижение располагаемой электрической мощности ТЭС при выводе основного оборудования в капитальный ремонт, кВт);

$t_{\text{рем.н}}$  – нормативная продолжительность ремонта, ч;

$\beta_{\text{сн.эл}}$  – коэффициент расхода электроэнергии на собственные нужды.)

**б) При дефиците электрической мощности и энергии** годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_b$  [см. формулы (2) и (10)], получаемой от увеличения продолжительности межремонтного периода на КЭС,



складывается из увеличения реализации дополнительного отпуска электроэнергии за счет сокращения числа ремонтов в расчете на один год за вычетом возрастания затрат на топливо, связанного с дополнительным отпуском электроэнергии:

$$\Delta\Pi_{\text{б}} = \Delta n_{\text{рем}} [T_{\text{эл}} \Delta W_{\text{рем}} (1 - \beta_{\text{эл}}) - V_{\text{эл}} \Delta W_{\text{рем}} \text{Ц}_{\text{т}}] - \Delta U_{\text{сум}} \quad (27)$$

### Теплоэлектроцентрали

а) При наличии резерва электрической и тепловой мощности и энергии годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_{\text{б}}$  [см. формулы (2) и (10)] определяется по выражению

$$\Delta\Pi_{\text{б}} = \Delta n_{\text{рем}} [(V_{\text{мэл}} - V_{\text{эл}}) \Delta W_{\text{рем}} + (V_{\text{рез.т}} - V_{\text{т}}) \Delta Q_{\text{рем}}] \text{Ц}_{\text{т}} - \Delta U_{\text{сум}} \quad (28)$$

где  $\Delta Q_{\text{рем}}$  – количество тепла, которое могло быть отпущено от ТЭЦ, если бы не был выведен в году  $t$  агрегат (энергоблок) в капитальный ремонт, Гкал:

$$\Delta Q_{\text{рем}} = Q_{\text{ном}} t_{\text{рем.п}} (1 - \beta_{\text{сн.т}}) \quad (29)$$

(здесь  $Q_{\text{ном}}$  – номинальная тепловая мощность ТЭС, Гкал/ч;

$\beta_{\text{сн.т}}$  – коэффициент расхода тепла на собственные нужды).

б) При дефиците электрической и тепловой мощности и энергии годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_{\text{б}}$  [см. формулы (2) и (10)] от увеличения продолжительности межремонтного периода на ТЭС выражается в увеличении выручки от реализации дополнительного количества энергии за вычетом связанных с этим дополнительных затрат на топливо:

$$\Delta\Pi_{\text{б}} = \Delta n_{\text{рем}} [T_{\text{эл}} \Delta W_{\text{рем}} (1 - \beta_{\text{эл}}) - V_{\text{эл}} \Delta W_{\text{рем}} \text{Ц}_{\text{т}} + T_{\text{т}} \Delta Q_{\text{рем}} (1 - \beta_{\text{т}}) - V_{\text{т}} \Delta Q_{\text{нед}} \text{Ц}_{\text{т}}] - \Delta U_{\text{сум}} \quad (30)$$

### 3.2.8 Годовой прирост балансовой прибыли от сокращения продолжительности простоя оборудования в ремонте

#### Конденсационные электростанции

а) При наличии резерва электрической мощности и энергии годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_{\text{б}}$  [см. формулы (2) и (10)] определяется по выражению



$$\Delta\Pi_6 = n_{\text{рем}} (B_{\text{мэл}} - B_{\text{эл}}) \Delta W_{\text{рем1}} \Pi_{\text{т}} - \Delta U_{\text{сум}} \quad (31)$$

где  $n_{\text{рем}}$  – число ремонтов в расчете на один год:

$$n_{\text{рем}} = \frac{1}{t_{\text{мрп}}} \quad (32)$$

где  $t_{\text{мрп}}$  – средняя продолжительность межремонтного периода за ряд лет между двумя любого вида смежными ремонтами, год;

$\Delta W_{\text{рем1}}$  – увеличение отпуска электроэнергии от КЭС в результате уменьшения по сравнению с нормативной продолжительности ремонта, кВт·ч:

$$\Delta W_{\text{рем1}} = \Delta N_{\text{расп}} \Delta t_{\text{рем}} (1 - \beta_{\text{сн.эл}}) \quad (33)$$

где  $\Delta t_{\text{рем}}$  – сокращение продолжительности простоя оборудования в ремонте по сравнению с установленным нормативом, ч).

**б) При дефиците электрической мощности и энергии** годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_6$  [см. формулы (2) и (10)], получаемый за счет сокращения продолжительности простоя оборудования КЭС в ремонте, определяется аналогично формуле (23):

$$\Delta\Pi_6 = n_{\text{рем}} [T_{\text{эл}} \Delta W_{\text{рем1}} (1 - \beta_{\text{эл}}) - B_{\text{эл}} \Delta W_{\text{рем1}} \Pi_{\text{т}}] - \Delta U_{\text{сум}} \quad (34)$$

### Теплоэлектроцентрали

**а) При наличии резерва электрической и тепловой мощности и энергии** годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_6$  [см. формулы (2) и (10)], получаемый за счет сокращения продолжительности ремонта, определяется аналогично формуле (24):

$$\Delta\Pi_6 = n_{\text{рем}} [(B_{\text{мэл}} - B_{\text{эл}}) \Delta W_{\text{рем1}} + (B_{\text{рез.т}} - B_{\text{т}}) \Delta Q_{\text{рем1}}] \Pi_{\text{т}} - \Delta U_{\text{сум}} \quad (35)$$

где  $\Delta Q_{\text{рем1}}$  – увеличение отпуска тепла от ТЭЦ при сокращении продолжительности ремонтных работ, Гкал:

$$\Delta Q_{\text{рем1}} = \Delta Q_{\text{ном}} \Delta t_{\text{рем}} (1 - \beta_{\text{сн.т}}) \quad (36)$$

**б) При дефиците электрической и тепловой мощности и энергии** годовой прирост балансовой прибыли  $\Delta\Pi_6$  [см. формулы (2) и (10)] вследствие сокращения продолжительности ремонта определяется аналогично формуле (26):

$$\Delta\Pi_6 = n_{\text{рем}} [T_{\text{эл}} \Delta W_{\text{рем1}} (1 - \beta_{\text{эл}}) - B_{\text{эл}} \Delta W_{\text{рем1}} \text{Ц}_T + \\ + T_T \Delta Q_{\text{рем1}} (1 - \beta_T) - B_T \Delta Q_{\text{рем1}} \text{Ц}_T] - \Delta U_{\text{сум}} \quad (37)$$

### 3.3. Учет составляющих затрат на осуществление энергосберегающих мероприятий

Затраты на осуществление энергосберегающих мероприятий состоят из капитальных вложений (единовременных затрат) и годовых эксплуатационных издержек, вызванных внедрением мероприятия.

а) Капитальные вложения на осуществление мероприятия  $K_M$  (руб.) складываются из двух составляющих:

$$K_M = K_{M1} + K_{M2} \quad (38)$$

где  $K_{M1}$  – затраты на проведение научно-исследовательских, проектных и конструкторских работ, руб.;

$K_{M2}$  – стоимость строительно-монтажных и наладочных работ, оборудования, материалов, запасных частей и т.п., а также затраты на эксплуатацию в период проведения мероприятия, руб.

Если мероприятие внедряется на нескольких однотипных агрегатах (объектах), то капитальные вложения определяются по выражению

$$K_M = K_{M1} - n_{\text{аг}} K_{M2} \quad (39)$$

где  $n_{\text{аг}}$  – количество агрегатов (объектов), на которых внедряется мероприятие.

Если годовой экономический эффект определяется применительно к одному агрегату (объекту), то

$$K_M = \frac{K_{M1}}{n_{\text{аг}}} + K_{M2} \quad (40)$$

б) В суммарные годовые эксплуатационные издержки, вызванные с внедрением мероприятия ( $\Delta U_{\text{сум}}$ ), входят амортизационные отчисления (в случае увеличения стоимости основных фондов) и дополнительные затраты на эксплуатацию (без учета затрат в период внедрения мероприятия):

$$\Delta U_{\text{сум}} = \Delta U_{\text{ам}} + \Delta U_3 \quad (41)$$

где  $\Delta U_{ам}$  – амортизационные отчисления, руб./год:

$$\Delta U_{ам} = \frac{\alpha_{ам}}{100} \cdot K_M \quad (42)$$

где  $\alpha_{ам}$  – норма амортизационных отчислений, %;

$\Delta U_{э}$  – дополнительные эксплуатационные издержки (увеличение расхода электроэнергии и тепла, затрат на ремонт, заработной платы и др.), руб./год.

### **3.4. Алгоритм экспресс-оценочного расчета экономической эффективности энергосберегающих мероприятий на ТЭС**

В ходе расчета экономической эффективности энергосберегающих мероприятий в указанной ниже последовательности определяются следующие показатели:

#### **3.4.1 Капитальные вложения**

$$K_M = K_{M1} + K_{M2} \quad (43)$$

#### **3.4.2 Годовые дополнительные эксплуатационные издержки**

$$\Delta U_{сум} = \Delta U_{ам} + \Delta U_{э} \quad (44)$$

#### **3.4.3 Годовой прирост балансовой прибыли**

Для мероприятия, дающего эффект непосредственно на ТЭС,

$$\Delta \Pi_б = \Delta B \cdot Ц_T - \Delta U_{сум} \quad (45)$$

Для мероприятия, дающего эффект в энергосистеме или на данной ТЭС при наличии нескольких групп оборудования,

$$\Delta \Pi_б = \Delta D + \Delta B \cdot Ц_T - \Delta U_{сум} \quad (46)$$

Если внедрение мероприятия приводит к нескольким технико-экономическим результатам, то годовой прирост балансовой прибыли определяется по сумме эффектов, получаемых от реализации этих результатов в обоих перечисленных выше случаях:

$$\Delta \Pi_б = \sum \Delta B_i \cdot Ц_T - \Delta U_{сум} \quad (47)$$

$$\Delta \Pi_б = \sum \Delta D_i + \sum \Delta B_i \cdot Ц_T - \Delta U_{сум} \quad (48)$$

где  $\sum \Delta D_i$  – суммарная дополнительная выручка в энергосистеме или на данной ТЭС с различными группами оборудования, руб.;

$\sum \Delta B_i \cdot Ц_T$  – суммарный энергосберегающий эффект на ТЭС или в энергосистеме в стоимостном выражении, руб.

#### 3.4.4 Сумма приростов налогов и отчислений

$$\Delta H = \gamma \Delta \Pi_6 \text{ (здесь } \gamma \text{ - процент налогов и отчислений)}. \quad (49)$$

#### 3.4.5 Годовой прирост чистой прибыли

$$\Delta \Pi_{\text{ч}} = \Delta \Pi_6 - \Delta H \quad (50)$$

3.4.6 Срок окупаемости единовременных затрат на проведение мероприятия

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{м}}}{\Delta \Pi_{\text{ч}} + \Delta U_{\text{ам}}} \quad (51)$$

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ**  
**ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И**  
**РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Студенту:

Группа	ФИО
5A92	Кожевников Даниил Николаевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	Отделение электроэнергетики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Затраты на специальное оборудование, а также стоимость материальных ресурсов учитываются в соответствии со среднерыночным уровнем цен г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	<i>Районный коэффициент – 30%; накладные расходы 16%</i>
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений	<i>Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %.</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	<i>Определение потенциального потребителя результатов исследования. Анализ и оценка конкурентоспособности НИ; проведение SWOT-анализа.</i>
2. Планирование и формирование бюджета	<i>Формирование плана и графика разработки: -определение структуры работ; -определение трудоемкости работ; -разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат</i>
2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой и экономической эффективности	<i>Определение эффективности исследования</i>

**Перечень графического материала**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Гантта

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	канд. экон. наук		16.02.2023

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A92	Кожевников Даниил Николаевич		16.02.2023

## **Введение**

Цель данного раздела выпускной квалификационной работы является экономическое планирование в рамках разработки проекта «Перспективные подходы к реализации мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности на тепловых станциях».

Задачами, обеспечивающими реализацию поставленной цели, являются: выполнение анализа конкурентных технических решений, составление структуры работ в рамках научного исследования, определения трудоемкости выполнения работ, разработку графика проведения научного исследования, составление бюджета НИИ (материальные затраты, основная заработная плата, дополнительная заработная плата и накладные расходы), а также определение сравнительной эффективности исследования.

# 1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

## 1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов данной ВКР являются руководители электростанций.

Сегментирование рынка услуг по использованию методики оценки рисков можно выполнить по следующим критериям: размер объекта электроэнергетики – фактор заинтересованности

Таблица 12 – Карта сегментирования рынка услуг по использованию методики оценки рисков

Фактор заинтересованности	Размер предприятия		
	Мелкое	Среднее	Крупное
Цифровизация	1,2	2	2,3
Сокращение потерь	-	2	2,3
Повышение энергоэффективности	1,2	2	2,3
Рискованность	1,2	2	-

1 – генерация до 500 МВт; 2 – генерация от 500 до 2000 МВт; 3 – генерация свыше 2000 МВт

По результатам сегментирования, видим, что, по началу спрос будет у мелких предприятий, и тем не менее основной упор нужно делать на средние предприятия, а крупные предприятия станут заинтересованы в будущем, когда технология докажет свою надёжность и работоспособность.

## 1.2. Анализ конкурентных технических решений

Для анализа альтернативных методов оценки рисков была выбрана оценочная карта. Для оценки конкурентных способов была выбрана шкала от 1 до 5, где:

1 – наиболее слабая позиция; 2 – ниже среднего, слабая позиция; 3 – средняя позиция; 4 – выше среднего, сильная позиция; 5 – наиболее сильная позиция.

Проанализируем конкурентные технических решения.

Таблица 13 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>Ц</sub>	Б <sub>М</sub>	Б <sub>В</sub>	К <sub>Ц</sub>	К <sub>М</sub>	К <sub>В</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,2	3	3	2	0,6	0,6	0,4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
3. Надежность	0,2	4	4	3	0,8	0,8	0,6
4. Потребность в ресурсах памяти	0,1	1	4	4	0,1	0,4	0,4
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
5. Конкурентоспособность продукта	0,15	5	3	1	0,75	0,45	0,15
6. Цена	0,2	3	3	3	0,6	0,6	0,6
Итого:	1	21	21	16	3,6	3,45	2,6

где Ц – Цифровизация; М – Модернизация оборудования; В – Возобновляемые источники энергии.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i + B_i \quad (52)$$

Согласно данным, представленным в таблице, можно сделать вывод, что цифровизация наиболее предпочтительная мера повышения энергоэффективности и энергосбережения. Превосходство цифровизации обусловлено новыми трендами, так и перспективами развития.

### 1.3. Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. По своему содержанию данный инструмент близок к методике оценки конкурентных технических решений.

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная.



Таблица 14 – QuaD для целесообразности цифровизации

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,06	60	100	0,6	0,036
2. Помехоустойчивость	0,02	90		0,9	0,018
3. Надежность	0,05	75		0,75	0,0375
4. Унифицированность	0,09	95		0,95	0,0855
5. Уровень материалоемкости разработки	0,05	75		0,75	0,0375
6. Уровень шума	0,01	95		0,95	0,0095
7. Безопасность	0,03	100		1	0,03
8. Потребность в ресурсах памяти	0,02	50		0,5	0,01
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,09	90		0,9	0,081
10. Простота эксплуатации	0,06	70		0,7	0,042
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,03	60		0,6	0,018
12. Ремонтпригодность	0,06	25		0,25	0,015
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
13. Конкурентоспособность продукта	0,08	80	100	0,8	0,064
14. Уровень проникновения на рынок	0,05	50		0,5	0,025
15. Перспективность рынка	0,08	90		0,9	0,072
16. Цена	0,06	50		0,5	0,03
17. Послепродажное обслуживание	0,03	15		0,15	0,0045
18. Финансовая эффективность научной разработки	0,06	70		0,7	0,042
19. Срок выхода на рынок	0,05	90		0,9	0,045
20. Наличие сертификации разработки	0,02	70		0,7	0,014
Итого	1				0,7165

Итоговое значение средневзвешенного значения позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая. По результатам оценки качества и перспективности делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направлениях ее дальнейшего

улучшения. В данной работе средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки получилось 71,6%, что говорит о перспективности выше среднего.

#### 1.4. SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научноисследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 15 – SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>	<b>Слабые стороны научноисследовательского проекта:</b>
	<p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Экологичность технологии.</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>Сл3. Отсутствие инженеринговой компании, способной построить производство под ключ</p> <p>Сл4. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл5. Большой срок поставок комплектующих, используемых при проведении научного исследования</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Снижение таможенных пошлин и сырье и материалы, используемые при научных исследованиях</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>За счёт новизны и трендов, гарантирован как минимум интерес у потенциальных потребителей. С наличием полноценно рабочего предприятия, спрос постепенно будет расти.</p>	<p>С использованием инфраструктуры ТПУ разработка прототипов и опытных образцов становится лишь вопросом времени.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Ограничения на экспорт технологии</p> <p>У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p> <p>У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>При изначально отсутствующем спросе, возможны акционные предложения, для плавного входа на рынок. Недостаток финансов можно решить с помощью привлечения сторонних инвесторов. А для квалифицированного персоналом не составит большого труда с обновлённой сертификацией продукта.</p>	<p>Невозможность осуществления запланированных мероприятий поднимает вопрос к невостребованности проекта в данном периоде времени, и ставит приоритеты на формирование основы проекта, а не на его реализацию.</p>

По результатам SWOT анализа можно сделать вывод, что цифровизация имеет за собой как сильные и перспективные стороны, так и слабые за счёт

того, что данная технология, ещё мало где используется, и не завоевала доверия у потенциальных потребителей. Но данная проблема решается сама по себе с течением времени за пару десятков лет, а и к тому времени конкуренция уже будет весомой, в связи с чем обратиться на неё своё внимание нужно уже сейчас.

## 2. Планирование научно-исследовательских работ

### 2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в следующем порядке:

1. определение структуры работ в рамках научного исследования;
2. определение участников каждой работы;
3. установление продолжительности работ;
4. построение графика проведения научных исследований.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 16 – SWOT-анализ

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Выбор темы выпускной квалификационной работы	Руководитель
	2	Составление календарного плана написания выпускной квалификационной работы	Руководитель, студент
Теоретическая подготовка	3	Подбор литературы для написания ВКР	Руководитель, студент
	4	Изучение, анализ, систематизация информации для выполнения ВКР	Студент
	5	Написание теоретической части ВКР	Студент
Проведение расчетов и их анализ	6	Подведение промежуточных итогов ВКР	Руководитель, студент
	7	Выполнение практической части ВКР	Студент
	8	Анализ полученных результатов	Студент
Обобщение и оценка результатов	9	Подведение итогов ВКР	Руководитель, студент
	10	Согласование и проверка работ с научным руководителем	Руководитель, студент

Таким образом, выделили основные этапы работ и их содержание, а также исполнителей, выполняющие данные работы.

## 2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоёмкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ож i}$  используется следующая формула:

$$t_{ож i} = \frac{3 \cdot t_{min i} + 2 \cdot t_{max i}}{5} \quad (53)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяем продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож i}}{Ч_i} \quad (54)$$

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

$t_{ож i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

### 2.3. Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Гантта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (55)$$

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.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48$$

Для определения календарных дней выполнения работы необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (56)$$

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.

Таблица 17 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$			Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$		
	$t_{min}$ , чел-дни			$t_{max}$ , чел-дни			$t_{ож\ i}$ , чел-дни				Исп 1	Исп 2	Исп 3	Исп 1	Исп 2	Исп 3
	Исп 1	Исп 2	Исп 3	Исп 1	Исп 2	Исп 3	Исп 1	Исп 2	Исп 3							
Выбор темы ВКР	1	1	1	3	3	3	2	2	2	Руководитель	2	2	2	2	2	2
Составление календарного плана написания ВКР	2	2	2	4	4	4	3	3	3	Руководитель, студент	1	1	1	1	1	1
Подбор литературы для написания ВКР	7	6	6	14	12	12	10	8	8	Руководитель, студент	5	4	4	7	6	6
Изучение, анализ, систематизация информации для выполнения ВКР	10	10	10	15	15	15	12	12	12	Студент	12	12	12	18	18	18
Написание теоретической части ВКР	13	13	13	19	19	19	15	15	15	Студент	15	15	15	22	22	22
Подведение промежуточных Итогов ВКР	6	5	5	12	10	10	8	7	7	Руководитель, студент	4	3	3	6	4	4
Выполнение практической части ВКР	9	9	9	16	16	16	12	12	12	Студент	12	12	12	18	18	18
Анализ полученных результатов	14	14	14	17	17	17	15	15	15	Студент	15	15	15	22	22	22
Подведение итогов ВКР	2	1	2	5	3	4	3	2	3	Руководитель, студент	2	1	2	3	1	3
Согласование и проверка работ с научным руководителем	2	2	2	10	10	10	5	5	5	Руководитель, студент	2	2	2	3	3	3
ИТОГО	66	63	64	115	109	110	85	81	82	-	70	67	68	102	97	99

Таблица 18 – Календарный план-график проведения ВКР по теме

№	Название работы	Исполнители	$T_{\text{кал}}$ дни	Производительность работы													
				Февраль		Март			Апрель			Май			Июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Выбор темы ВКР	Руководитель	2	■													
2	Составление календарного плана написания ВКР	Руководитель, студент	1		■												
3	Подбор литературы для написания ВКР	Руководитель, студент	17		■	■											
4	Изучение, анализ, систематизация информации для выполнения ВКР	Студент	18			■	■	■									
5	Написание теоретической части ВКР	Студент	22					■	■	■							
6	Подведение промежуточных Итогов ВКР	Руководитель, студент	6								■						
7	Выполнение практической части ВКР	Студент	18								■	■	■				
8	Анализ полученных результатов	Студент	22										■	■	■		
9	Подведение итогов ВКР	Руководитель, студент	3														■
10	Согласование и проверка работ с научным руководителем	Руководитель, студент	3														■

■ – Научный руководитель ■ – Студент

## 2.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

### 2.4.1. Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх } i} \quad (57)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup>);

$N_{\text{расх } i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup>).

Таблица 19 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб			Затраты на материалы, Зм, руб		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Бумага	лист	250	100	150	2	2	2	500	200	300
Картридж	шт.	1	1	1	700	700	700	700	700	700
Шариковая ручка	шт.	2	1	2	20	20	20	40	20	40
Карандаш	шт.	1	1	1	10	10	10	10	10	10
Блокнот	шт.	1	0	1	50	0	50	50	0	50
Итого								1300	930	1100

#### 2.4.2. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата 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.

Зарплата научного руководителя и студента включает основную заработную плату и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (58)$$

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

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (12% от  $Z_{\text{осн}}$ )

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) научного руководителя и студента рассчитана по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (59)$$

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



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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (60)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научнотехнического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot k_p \quad (61)$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 для г. Томска.

Месячный должностной оклад руководителя темы, руб.:

$$Z_{\text{м}} = 39\,300 \cdot 1,3 = 51\,090 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад студента, руб.:

$$Z_{\text{м}} = 16\,300 \cdot 1,3 = 21\,190 \text{ руб.}$$

Таблица 20 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель темы	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	65	65
- праздничные дни	15	15
Потери рабочего времени		
- отпуск	28	0
- невыходы по болезни	0	5
Действительный годовой фонд рабочего времени	190	200

Среднедневная заработная плата научного руководителя, руб.:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{51\,090 \cdot 10,4}{257} = 2\,067 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата студента, руб.:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{21\,190 \cdot 11,2}{252} = 942 \text{ руб.}$$

Рассчитаем рабочее время:

Руководитель:  $T_p = 16$  раб. дней

Студент:  $T_p = 68$  раб. дней

Основная заработная плата научного руководителя составила:

$$Z_{\text{осн}} = 2067.5 \cdot 16 = 33\,079 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата студента составила:

$$Z_{\text{осн}} = 941.8 \cdot 68 = 64\,041 \text{ руб.}$$

Таблица 21 – Расчет основной заработной платы научного руководителя и студента

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$ , руб	$k_p$	$Z_{\text{м}}$ , руб	$Z_{\text{дн}}$ , руб	$T_p$ , раб. дней	$Z_{\text{осн}}$ , руб
Научный руководитель	39 300	1,3	51 090	2 067	16	33 079
Студент	16 300	1,3	21 190	942	68	64 041
Итого $Z_{\text{осн}}$ , руб						97 120

### 2.4.3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (62)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы, принимается равным 0,12;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

### 2.4.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (63)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования).

Таблица 22 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель проекта	33 079	26 893	28 944	3969	3227	3473
Студент-дипломник	64 041	61 223	62 184	7685	7347	7462
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302					
Итого						
Исполнение 1	32 850 руб.					
Исполнение 2	29 804 руб.					
Исполнение 3	30 823 руб.					

исп. 1 – цифровизация; исп. 2 – модернизация оборудования;  
исп. 3 – возобновляемые источники энергии.

## 2.4.5. Накладные расходы

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{м}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot k_{\text{нр}} \quad (64)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%

Накладные расходы составили:

$$Z_{\text{накл}}^{\text{исп1}} = (1\,300 + (33\,079 + 64\,041) + (3\,969 + 7\,685) + 32\,850) \cdot 0,16 = 22\,868 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{накл}}^{\text{исп2}} = (930 + (26\,893 + 61\,223) + (3\,227 + 7\,347) + 29\,804) \cdot 0,16 = 20\,708 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{накл}}^{\text{исп3}} = (1\,100 + (28\,944 + 62\,184) + (3\,473 + 7\,462) + 30\,823) \cdot 0,16 = 21\,438 \text{ руб}$$

## 2.4.6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 23 – Расчет бюджета затрат ВКР

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Материальные затраты НТИ	1 300	930	1 100
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	97120	88116	91128
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	11654	10574	10935
4. Отчисления на социальные нужды	32850	29804	30823
5. Накладные расходы	22868	20708	21438
6. Бюджет затрат НТИ	165 792	150 132	155 424

## 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

*Интегральный показатель финансовой эффективности* научного исследования определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (65)$$

где  $I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{фин.р}^{исп 1} = \frac{165\ 792}{165\ 792} = 1$$

$$I_{фин.р}^{исп 2} = \frac{150\ 132}{165\ 792} = 0.91$$

$$I_{фин.р}^{исп 3} = \frac{155\ 424}{165\ 792} = 0.94$$

**Интегральный показатель ресурсоэффективности** вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i = 1 \quad (66)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Таблица 24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4	4
3. Помехоустойчивость	0,15	5	3	3
4. Энергосбережение	0,2	4	4	5
5. Надежность	0,25	5	3	4
6. Материалоемкость	0,15	4	5	3
Итого	1	4,65	3,65	3,9

$$I_p^{исп 1} = 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,65$$

$$I_p^{исп 2} = 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 = 3,65$$

$$I_p^{исп 3} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 3,9$$

**Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки** ( $I_{исп i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп 1} = \frac{I_p^{исп 1}}{I_{фин.р}^{исп 1}} = \frac{4,65}{1} = 4,65$$

$$I_{\text{исп } 2} = \frac{I_p^{\text{исп } 2}}{I_{\text{фин.}p}^{\text{исп } 2}} = \frac{3,65}{0,91} = 4,01$$

$$I_{\text{исп } 3} = \frac{I_p^{\text{исп } 3}}{I_{\text{фин.}p}^{\text{исп } 3}} = \frac{3,9}{0,94} = 4,15$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ ):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп } 2}}{I_{\text{исп } 1}} \quad (67)$$

Таблица 25 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,91	0,94
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,65	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,65	4,01	4,15
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,862	0,892

Сравнив значения интегральных показателей эффективности, можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.