

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

---

Институт – Физико-технический  
Направление – Ядерные физика и технологии  
Кафедра – Электроника и автоматика физических установок  
Специальность – Электроника и автоматика физических установок

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПЕРАТИВНОГО ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ БЛОКОМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ТОКАМАКА КТМ</b>

УДК 004.415:621.039.62:681.58

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0712	Матаннанов И.И.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Павлов В.М.	канд. техн. наук, доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	канд. филос. наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Акимов Д.В.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭАФУ	Горюнов А.Г.	д-р техн. наук, доцент		

Томск – 2017 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, а также культурных ценностей; понимать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности, защите интересов личности, общества и государства; быть готовым к анализу социально-значимых процессов и явлений, применять основные положения и методы гуманитарных, социальных и экономических наук при организации работы в организации, к осуществлению воспитательной и образовательной деятельности в сфере публичной и частной жизни.
P2	Обладать способностями: действовать в соответствии с Конституцией РФ, исполнять свой гражданский и профессиональный долг, руководствуясь принципами законности и патриотизма, правилами и положениями, установленные законами и другими нормативными правовыми актами; к логическому мышлению, обобщению, анализу, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей их достижения; понимать основы национальной и военной безопасности РФ; работать в многонациональном коллективе; формировать цели команды, применять методы конструктивного разрешения конфликтных ситуаций;

	использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ.
Р3	Самостоятельно, методически правильно применять методы самостоятельного физического воспитания для повышения адаптационных резервов организма и укрепления здоровья, готовностью к достижению и поддержанию должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
Р4	Свободно владеть литературной и деловой письменной и устной речью на русском языке, навыками публичной и научной речи. Уметь создавать и редактировать тексты профессионального назначения, владеть одним из иностранных языков как средством делового общения.
Р5	Находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; быть готовым к принятию ответственности за свои решения в рамках профессиональной компетенции, принимать решения в нестандартных условиях обстановки и организовывать его выполнение, самостоятельно действовать в пределах предоставленных прав; самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля для приобретения новых знаний и умений, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных со сферой деятельности, развития социальных и профессиональных компетенций.
Р6	Применять основные законы естественнонаучных дисциплин, математический аппарат, вычислительную технику, современные методы исследований процессов и объектов для формализации, анализа и выработки решения профессиональных задач.

<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
P7	<p>Уметь самостоятельно повышать уровень знаний в области профессиональной деятельности, приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт, методы научно-исследовательской и практической деятельности, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; работать с информацией в глобальных компьютерных сетях; оценивать перспективы развития АСУ и АСНИ физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), использовать современные достижения в научно-исследовательских работах.</p>
P8	<p>Применять знания о процессах в ядерных энергетических и физических установках, и о технологических процессах ядерного топливного цикла используя методы математического моделирования отдельных стадий и всего процесса для разработки АСУ ТП и АСНИ с применением пакетов автоматизированного проектирования и исследований.</p>
P9	<p>Использовать знания о протекающих процессах в ядерных энергетических установках, аппаратах производств ядерного топливного цикла, теории и практики АСУ ТП, при проектировании, настройке, наладке, испытаниях и эксплуатации современного оборудования, информационного, организационного, математического и программного обеспечения, специальных технических средств, сооружений, объектов и их систем; организовать эксплуатацию физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов</p>

	<p>атомной промышленности и энергетики), современного оборудования и приборов с учетом требований руководящих и нормативных документов; быть готовым к освоению новых образцов физических установок, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний.</p>
P10	<p>Использовать технические средства и информационные технологии, проводить предварительное технико-экономического обоснования проектных расчетов устройств и узлов приборов и установок, расчет, концептуальную и проектную проработку программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, применять методы оптимизации, анализа вариантов, поиска решения многокритериальных задач с учетом неопределенностей объекта управления, разрабатывать способы применения программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, решать инженерно-физические и экономические задачи, применяя знания теории и практики АСУ, включающее математическое, информационное и техническое обеспечения, для проектирования, испытания, внедрения и эксплуатации АСУ ТП и АСНИ.</p>
P11	<p>Понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, соблюдать основные требования безопасности и защиты государственной тайны; выполнять мероприятия по восстановлению работоспособности физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики) при возникновении аварийных ситуаций, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения; проводить анализ и оценку обстановки для принятия решения в случае возникновения аварийных ситуаций, экологическую</p>

	<p>безопасность, нормы и правило производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности.</p>
P12	<p>Разрабатывать проекты нормативных и методических материалов, технических условий, стандартов и технических описаний средств АСУ ТП и АСНИ, регламентирующих работу в сфере профессиональной деятельности; осуществлять разработку технического задания, расчет, проектную проработку современных устройств и узлов приборов, установок (образцов вооружения, программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ), использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов.</p>
P13	<p>Использовать в профессиональной деятельности нормативные правовые акты в области защиты государственной тайны, интеллектуальной собственности, авторского права и в других областях; осуществлять поиск, изучение, обобщение и систематизацию научно-технической информации, нормативных и методических материалов в сфере своей профессиональной деятельности.</p>
P14	<p>Проявлять и активно применять способность к организации и управлению работой коллектива, в том числе: находить и принять управленческие решения в сфере профессиональной деятельности; разрабатывать планы работы коллективов; контролировать соблюдение технологической дисциплины, обслуживания, технического оснащения, размещения технологического оборудования; организовывать учет и сохранность физических установок (вооружения и техники), соблюдение требований безопасности при эксплуатации; использовать основные методы защиты персонала и населения</p>

	от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий.
P15	Демонстрировать способность к осуществлению и анализу научно-исследовательских, технологических и пуско-наладочных работ, разработке планов и программ их проведения, включая ядерно-физические эксперименты, выбору методов и средств решения новых задач с применением современных электронных устройств, представлению результатов исследований и формулированию практических рекомендаций их использования в формах научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных работ; выполнять полный объем работ, связанных с техническим обслуживанием физических установок с учетом требований руководящих и нормативных документов.

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

---

Институт – Физико-технический  
Направление – Ядерные физика и технологии  
Кафедра – Электроника и автоматика физических установок  
Специальность – Электроника и автоматика физических установок

**УТВЕРЖДАЮ**  
Зав. кафедрой ЭАФУ ФТИ  
\_\_\_\_\_ А.Г. Горюнов  
«03» октября 2016 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

**В форме:**

Дипломной работы
------------------

**Студенту:**

Группа	ФИО
0712	Матаннанов И.И.

**Тема работы:**

Разработка программного обеспечения оперативного пульта управления блоком электротехнических устройств токамака КТМ
---

<b>Утверждена приказом директора ФТИ</b>	от 31.10.2016 № 9286/с
--	------------------------

<b>Дата сдачи студентом выполненной работы</b>	23 января 2017 г.
--	-------------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Программное обеспечение должно выполнять сбор, визуализацию, сохранение требуемых контролируемых параметров и их передачу на центральный пульт управления по протоколу Modbus TCP, а также на РДЦ «Восточные МЭС» по протоколу МЭК-60870-5-104. Разработка программного обеспечения должна проводиться в SCADA-системе Trace Mode. Мнемосхемы должны придерживаться правилам оформления графического отображения информации, описанных в СТО 56947007-29.240.10.035–2009. Размеры мнемосхем должны укладываться в разрешающую способность экрана ОПУ БЭУ - 1920x1080. Разрабатываемое программное обеспечение должно быть совместимо с
---------------------------------	--



	используемой в составе ПЭВМ ОПУ БЭУ ОС MS Windows 10.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Анализ оборудования блока электротехнических устройств на токамаке КТМ. Составление входных и выходных сигналов, поступающих на оперативный пульт управления. Разработка мнемосхем оперативного пульта управления блоком электротехнических устройств. Эмуляция передачи контролируемых параметров на центральную пультовую и РДЦ «Восточные МЭС». Экспериментальная проверка работоспособности разработанного программного обеспечения.
<b>Перечень графического материала</b>	Презентация, мнемосхемы
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент, канд. филос. наук Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	ассистент Акимов Д.В.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	03 октября 2016 г.
---	--------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Павлов В.М.	канд. техн. наук, доцент		03.10.16

**Задание принял к исполнению студент**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0712	Матаннанов И.И.		03.10.16

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 101 с., 31 рис., 21 табл., 23 источника, 4 приложения.

ТОКАМАК, ОПЕРАТИВНЫЙ ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ, МНЕМОСХЕМА, ПРОТОКОЛ, SCADA-СИСТЕМА, ШКАФ ЗАЩИТ ТРАНСФОРМАТОРА

Объектом исследования выпускной квалифицированной работы является блок электротехнических устройств, находящийся на подстанции №51 токамака КТМ.

Цель работы заключается в разработке программного обеспечения, которое обеспечивает сбор, хранение и предоставление информации о контролируемых параметрах блока электротехнических устройств подстанции КТМ на оперативном пульте управления.

Разработанное программное обеспечение позволит в режиме реального времени следить за технологическими параметрами от блока электротехнических устройств, а также при необходимости управлять отдельными устройствами этого блока.

Выпускная квалификационная работа делается по заказу Национального ядерного центра Республики Казахстан.

Работа выполнялась при помощи пакета программ Microsoft Office, SCADA-системы Trace Mode, эмулятора протокола Modbus TCP – Modbus Slave и эмулятора протокола МЭК 60870-5-104 – IEC 870-5-104 Simulator.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.003–2014 Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.005-88. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. — Введ. 01.01.1989.

ГОСТ Р МЭК 60870-5-104–2004 Доступ к сети для ГОСТ Р МЭК 870-5-101 с использованием стандартных транспортных профилей.

В данной работе применены следующие сокращения:

human-machine interface – человеко-машинный интерфейс; НМІ.

supervisory control and data acquisition – диспетчерское управление и сбор данных; SCADA.

автоматизированная система диспетчерского управления; АСДУ.

автоматизированные системы управления технологическими процессами; АСУ ТП.

интернациональный термоядерный экспериментальный реактор; ИТЭР.

казахстанский токамак материаловедческий; КТМ.

микропроцессорное устройство релейной защиты; МУРЗ.

магистральные электрические сети; МЭС.

оперативный пульт управления блоком электротехнических устройств;  
ОПУ БЭУ.

программируемый логический контроллер; ПЛК.

региональный диспетчерский центр; РДЦ.

операционная система; ОС.

программное обеспечение; ПО.

персональная электронно-вычислительная машина; ПЭВМ.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	15
1 Обзор литературы .....	16
1.1 Экспериментальная термоядерная установка токамак .....	16
1.2 Казахстанский материаловедческий токамак КТМ .....	19
1.3 Автоматизированная система диспетчерского управления .....	21
1.4 Графический интерфейс оператора.....	23
1.5 Протоколы Modbus RTU, Modbus TCP.....	26
1.6 Протокол МЭК-60870-5-104 .....	30
2 Объект и методы исследования .....	32
2.1 Введение.....	32
2.2 Элементы блока электротехнических устройств.....	33
2.3 Информационные соединения с сервисным компьютером ОПУ БЭУ ...	35
3 Разработка программного обеспечения.....	37
3.1 Разработка мнемосхем.....	37
3.2 Настройка передачи данных по протоколу Modbus TCP .....	42
3.3 Настройка передачи данных по протоколу МЭК 60870-5-104 .....	44
4 Экспериментальная проверка .....	45
4.1 Проверка работы мнемосхем .....	45
4.2 Проверка настроек передачи данных по Modbus TCP.....	48
4.3 Проверка передачи данных по телемеханическому протоколу МЭК-60870-5-104 .....	52
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	56

5.1	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	56
5.2	SWOT-анализ.....	58
5.3	Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	60
5.4	Инициация проекта.....	62
5.5	План проекта.....	64
5.6	Бюджет научного исследования.....	66
5.7	Накладные расходы.....	69
5.8	Специальное оборудование для научных работ.....	69
5.9	Реестр рисков проекта.....	72
5.10	Оценка сравнительной эффективности исследования.....	73
6	Социальная ответственность.....	77
6.1	Введение.....	77
6.2	Анализ вредных и опасных факторов рабочей зоны.....	77
6.3	Электромагнитное излучение.....	78
6.4	Микроклимат.....	79
6.5	Требования к освещению.....	79
6.6	Требования к электробезопасности.....	81
6.7	Требования к пожаробезопасности.....	82
6.8	Требования к уровню шума.....	83
6.9	Общие требования безопасности при работе с ПЭВМ.....	84
6.10	Требования по охране окружающей среды.....	85
	Заключение.....	86
	Список используемых источников.....	88
	Приложение А. Поясняющая схема защит головного трансформатора.....	90

Приложение Б. Сигналы блока электротехнических устройств .....	91
Приложение В. Общая структура информационных потоков .....	101
Приложение Г. Презентация .....	на отдельных листах
Титульный лист	
Актуальность работы	
Цели и задачи	
Объект исследования. Общая схема информационных соединений ОПУ БЭУ	
Основные сигналы поступающие на ОПУ БЭУ	
Схема информационных соединений с сервисным компьютером ОПУ БЭУ	
Требования к программному обеспечению	
Мнемосхема головного трансформатора и ЗРУ-10кВ	
Мнемосхема преобразовательного трансформатора для питания РВ обмотки	
Мнемосхема электротехнических устройств со стороны напряжения 220 кВ и защит головного трансформатора	
Отображение параметров со счетчика электрической энергии	
Алгоритм действия оператора	
Настройка передачи по Modbus TCP	
Эмуляция передачи данных по Modbus TCP	
Настройка передачи данных по МЭК 60870-5-104	
Эмуляция передачи данных по МЭК 60870-5-104	
Проверка отображения параметров на мнемосхемах	
Экономические затраты	
Результаты работы	
Диск CD-R.....	в конверте на обороте обложки
643.ФЮРА.00010-01 81 01	Пояснительная записка ВКР. Файл
Матаннанов_ВКР.doc	
Презентация к ВКР. Файл Матаннанов_ВКР_презентация.rptx	
Программное обеспечение. Файл Программа_Матаннанов.rgj	

## ВВЕДЕНИЕ

На строящейся экспериментальной термоядерной установке токамак КТМ установлено большое количество электротехнического оборудования: трансформаторы, выключатели, разъединители, за которыми необходим постоянный контроль и управление. Для выполнения функций контроля и управления, необходимо программное обеспечение, которое должно:

- в режиме реального времени отслеживать информацию о состоянии электротехнических устройств, передавать ее на центральный пульт управления;
- передавать данные о потребляемой электроэнергии на РДЦ «Восточные МЭС».

Разработанное программное обеспечение будет использоваться на токамаке КТМ, а также позволит студентам кафедры электроники и автоматики физических установок изучить механизм передачи технологических параметров блока электротехнических устройств на удаленные пульты управления.

Для проверки экспериментальной работоспособности программного обеспечения использовались эмуляторы. Один из эмуляторов выполняет отдельные функции сервисного компьютера оперативного пульта управления блоком электротехнических устройств, на который передаются технологические параметры от микропроцессорных устройств релейной защиты, а другой эмулирует ведущее устройство на РДЦ «Восточные МЭС».

					<i>643.ФЮРА.00014-01 81 01</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Матаннанов</i>				<i>Введение</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Павлов</i>							
<i>Консульт</i>								
<i>Н. Контр.</i>	<i>Ефремов</i>					<i>ТПУ</i>	<i>ФТИ</i>	
<i>Утверд.</i>	<i>Горюнов</i>					<i>Группа</i>	<i>0712</i>	

# 1 Обзор литературы

## 1.1 Экспериментальная термоядерная установка токамак

Токамак является сокращением слов – тороидальная камера с магнитными катушками, и представляет собой термоядерную установку для удерживания плазмы с высокой температурой при помощи магнитных полей. Удержание плазмы является необходимым условием протекания управляемой термоядерной реакции синтеза легких ядер. В качестве топлива используется в основном смесь дейтерия и трития. При синтезе данных ядер, образуется энергия 17,6 МэВ (1).



Можно отметить следующие преимущества термоядерной энергетики:

- высокие показатели энергоотдачи;
- огромные запасы топлива для термоядерного синтеза;
- менее губительное влияние на окружающую среду по сравнению с электростанциями на природном топливе, которые выделяют парниковые газы, угарный газ, пыль;
- более высокая безопасность, так как термоядерная реакция не является цепной, и она не может выйти из под контроля.

Эти преимущества являются основными причинами, по которым ведутся работы по изучению термоядерного синтеза и строительству токамаков.

					<i>643.ФЮРА.00014-01 81 01</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Матаннанов</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Павлов</i>					
<i>Консульт</i>					<i>Обзор литературы</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Ефремов</i>					
<i>Утверд.</i>		<i>Горюнов</i>					
					<i>ТПУ ФТИ Группа 0712</i>		



Идея о создании токамака пришла А.Д. Сахарову и И.Е. Тамму еще в 1950 году, а уже в 1956 на территории Советского Союза проводились экспериментальные исследования на первом токамаке, построенном в Институте Атомной Энергии им И.В. Курчатова

Устройство токамака изображено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Устройство токамака

Токамак представляет собой вакуумную камеру в виде тора, на которую намотаны катушки для создания тороидального магнитного поля. В уже откачанную от воздуха камеру наполняют смесью дейтерия и трития. С помощью центрального соленоида (индуктора), являющегося, по сути, первичной обмоткой трансформатора, создают вихревое электрическое поле. Камера токамака играет роль вторичной обмотки. Электрическое поле вызывает протекание тока и зажигание плазмы. Ток, протекающий через плазму, одновременно нагревает ее (омический нагрев) и создает полоидальное поле (для более стабильного удержания плазмы необходимо наличие дополнительных

источников полоидального поля – полоидальные катушки). Однако для протекания термоядерной реакции, которая достигается при температуре  $10^8$  К, данных мер недостаточно. Поэтому осуществляют дополнительный нагрев плазмы с помощью микроволнового излучения и инъекции нейтральных атомов.

В перспективе, управляемый термоядерный синтез сможет решить глобальную проблему человечества по выработке электроэнергии, сделав ее очень дешевой. Поэтому исследования в данной области не прекращаются. Одним из ближайших проектов в области термоядерной энергетики является Международный экспериментальный термоядерный реактор ИТЭР, главной целью которого является демонстрация возможности использования управляемого термоядерного синтеза в коммерческих целях для выработки электроэнергии. На сегодняшний день проектирование ИТЭР закончено и ведутся работы по его строительству в исследовательском центре Карадаш во Франции (рисунок 2) . Первые эксперименты на данном реакторе планируется начать к 2025 году [1].



Рисунок 2 – Строительные работы на ИТЭР

## 1.2 Казахстанский материаловедческий токамак КТМ

Казахстанский токамак материаловедческий – строящаяся термоядерная установка для изучения свойств материалов под такими энергетическими нагрузками, которые будут в будущих термоядерных энергетических реакторах, в том числе и ИТЭР. Строительство токамака КТМ ведется на территории Республики Казахстан в городе Курчатов.

Основная цель токамака КТМ – проведение экспериментальных исследований над конструкциями защитных стенок, диверторных пластин, лимитеров, диафрагм и других внутрикамерных элементов в широких диапазонах тепловых и плазменных потоков. Также на токамаке КТМ могут быть решены дополнительные задачи, например, исследования в вопросах длительного удержания плазмы в различных конфигурациях и поиск эффективных механизмов нагрева плазмы. Все это позволит открыть возможности для создания безопасных и экономичных термоядерных энергетических установок [2].

Предложение о возможности строительства термоядерной установки на территории Республики Казахстан было выдвинуто в 1997 году. С 1999 года по 2003 проводилось проектирование установки и основных систем токамака КТМ. К 2007 году были завершены отдельные работы по строительству лабораторного корпуса и реакторного зала, а также и самой термоядерной установки. Следующие три года проводился монтаж и наладка установки, и 5 сентября 2010 был проведен пробный запуск. В результате был получен плазменный шнур с максимальным током 25 кА на протяжении 40 мс. [3]. Общий вид токамака КТМ представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Токамак КТМ

Однако из-за проблем с финансированием реализация проекта строительства КТМ была приостановлена. И после пересмотра технико-экономического обоснования проекта при финансовой поддержке Российской Федерации и Республики Беларусь работы по строительству термоядерной установки продолжились.

На данный момент работы по строительству реализованы на 80 % [4]. Продолжаются работы по изготовлению системы высокочастотного нагрева, электромагнитной, вакуумной систем, проводится реконструкция лабораторного комплекса, а также ведутся работы по разработке автоматизированной системы контроля и управления электротехническим оборудованием комплекса и сбора данных самих экспериментов.

Физический пуск КТМ запланирован на 2017 год во время всемирной выставки Экспо-2017, посвященной «энергии будущего» [5].

### 1.3 Автоматизированная система диспетчерского управления

Автоматизированная система диспетчерского управления (АСДУ) представляет собой программно-технический комплекс для осуществления контроля и удаленного управления инженерными системами объектов, которые могут быть разнесены территориально или расположены в труднодоступных местах.

Главной целью проектирования АСДУ является решение задачи визуализации информации о функционировании инженерных систем в режиме реального времени и предоставлении оператору возможности контроля и управления оборудованием с диспетчерской.

АСДУ выполняет следующие функции:

- сбор, сохранение и предоставление персоналу данных о состоянии оборудования в режиме реального времени;
- измерение текущих значений требуемых технологических параметров;
- учет электроэнергии;
- возможность удаленного управления оборудованием;
- обеспечение доступа к информации другим подразделениям;
- диагностика программно-технического комплекса системы.

Обычно структура АСДУ состоит из трех уровней (рисунок 4).

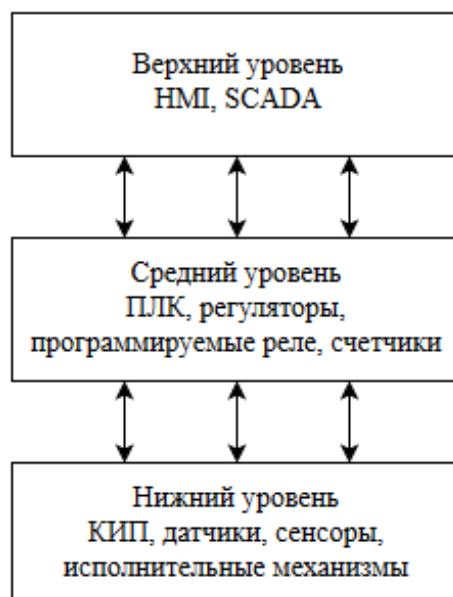


Рисунок 4 – Уровни АСДУ

Нижний уровень представлен контрольно-измерительными приборами, датчиками, сенсорами, которые непосредственно взаимодействуют с электротехническим оборудованием и измеряют технологические параметры.

Средний уровень включает в себя программируемые логические контроллеры, регуляторы, микропроцессорные устройства релейной защиты, счетчики и т. д. Они получают информацию от измерительных устройств и в соответствии с заданным алгоритмом выдают управляющие команды на исполнительные механизмы.

Верхний уровень это уровень, где задействован человек (оператор, диспетчер). Здесь осуществляется связь с нижними уровнями АСДУ и производится визуализация данных о технологических параметрах, состоянии оборудования и т. п. Оператор посредством человеко-машинного интерфейса (мониторы, графические панели) осуществляет контроль над технологическим оборудованием. Для выполнения функций верхнего уровня АСДУ применяются программное обеспечение, разработанное в SCADA-системах. SCADA-система – это программный комплекс для проектирования прикладного программного обеспечения, которое участвует в процессе диспетчерского контроля и управления данными.

Преимущества автоматизированной системы диспетчерского управления:

- централизованный контроль над технологическим оборудованием;
- оперативное реагирование и оповещение в случаях аварии;
- выполнение сложных задач, исключая влияние человеческого фактора;
- возможность обработки большого количества информации;
- предоставление оператору удобного интерфейса для контроля и управления.

#### **1.4 Графический интерфейс оператора**

При разработке графического интерфейса оператора необходимо выполнить задачу о максимальной эффективности системы «человек-техника». Это достигается за счет:

- уменьшения времени выполнения операций в трудовом процессе;
- минимизации ошибок, совершаемых оператором;
- сохранение концентрации человека в течение длительного времени [6].

Представление информации о состоянии объекта должно осуществляться в форме, удобной для восприятия человеком. Поиск необходимой информации на графическом интерфейсе оператора зависит от количества информационных элементов, яркости, контрастности, структуры информационного поля и т. д.

Время поиска информации от общего количества информации зависит линейно, следовательно, нежелательно на одном экране отображать большое количество информации. Кроме того, разнообразие элементов информационного поля тоже увеличивает время поиска и количество ошибок оператора.

Также при беспорядочном расположении большого числа элементов на информационном поле эффективность снижается. Поэтому следует обеспечить специальную организацию информационного поля для уменьшения времени

поиска требуемого параметра на экране. Например, раньше обнаруживаются знаки, расположенные в верхнем левом квадранте, именно оттуда начинается маршрут движения глаз оператора при поиске информации на мониторе.

На практике увеличения эффективности работы оператора применяют кодирование информации. Так информационные сигналы могут представляться буквами, цифрами, фигурами, условными знаками, цветами, яркостью, перемещением и даже звуковыми оповещениями.

При кодировании геометрическими фигурами, следует учесть, что лучше различаются человеком простые фигуры – прямоугольники, треугольники, нежели круги и многоугольники. Криволинейные фигуры различаются хуже, чем фигуры из прямых линий.

При буквенном или цифровом кодировании нужно обратить внимание на похожесть некоторых символов, например, П и Л, Q и O, 5 и 6.

При цветовом кодировании нужно знать, что человек может идентифицировать не больше 12 цветовых типов. Более точно человек опознает такие цвета как красный, зеленый, голубой и фиолетовый. При совмещении статической и динамической информации следует использовать не только цвета, но и насыщенность. Статические в более светлых красках, динамические – насыщенных тонах.

При разработке мнемосхем пультов управления энергосетями применяют стандарт организации ОАО «Федеральная сетевая компания энергетической системы» СТО 56947007-29.240.10.035–2009 «Правила оформления схем электрических соединений подстанций и графического отображения информации посредством программно-технических комплексов».

В данном стандарте отражены требования к графическому отображению информации на средствах индивидуального и коллективного пользования посредством программно-технических комплексов, например, требования к цветовой палитре объектов сети (таблица 1)



Таблица 1 – Цветовая палитра объектов сети

Уровень напряжения	Цвет	Значение RGB
Фон	черный	0:0:0
800 кВ, 750 кВ	синий	50:100:255
500 кВ	красный	213:0:0
400 кВ	оранжевый	255:100:30
330 кВ	зеленый	0:170:0
220 кВ	темно-желтый	255:210:0
150 кВ	сиреневый	205:138:255
110 кВ	голубой	60:160:255
35 кВ, 24 кВ, 20 кВ, 10 кВ, 6 кВ	серый	

Также в СТО 56947007-29.240.10.035–2009 прописаны правила разрядности при отображении телеизмерений:

- напряжение для всех классов – 4 разряда до запятой, один после запятой;
- мощность – 5 разрядов до запятой один после запятой;
- ток – 5 разрядов до запятой один после запятой;
- частота – 2 разряда до запятой, два после запятой.

## 1.5 Протоколы Modbus RTU, Modbus TCP

Modbus – протокол передачи данных, основанный по принципу «ведущий-ведомый». Разработан компанией Modicon в 1979 году [7]. Основными преимуществами данного протокола является открытость и массовость. Большинство всех промышленных SCADA-систем имеют поддержку для работы с Modbus-сетями.

Modbus имеет режим передачи RTU и ASCII. Однако режим передачи ASCII в Modbus является опционным и почти не используется [8]. В соответствии с сетевой моделью OSI протокол Modbus включает в себя три уровня: физический, канальный, прикладной (таблица 2)

Таблица 2 – Модель OSI для Modbus

Уровень	Название уровня	Реализация
7	Прикладной	Modbus application protocol
6	Уровень представления	–
5	Сеансовый	–
4	Транспортный	–
3	Сетевой	–
2	Канальный	Протокол «ведущий-ведомый». Режимы RTU и ASCII
1	Физический	RS-485, RS-232

В качестве физического уровня Modbus в основном использует RS-485, но возможно и использование RS-232. Modbus-шина состоит из одного магистрального кабеля с тремя отводами – витая пара и проводник соединяющий общие выводы всех интерфейсов RS-485 в сети. Устройства подключаются к магистральному кабелю тремя способами:

- напрямую;
- через пассивный разветвитель;
- через активный разветвитель.

Протокол Modbus ограничивается одним ведущим устройством и до 247 ведомых. Обмен инициируется только ведущим устройством, и оно может посылать запросы в широковещательном режиме или одному. Возможность обмена данными между ведомыми устройствами без ведущего отсутствует.

В протоколе Modbus RTU сообщения передаются кадрами, началом которых служит пауза длиной не менее 3,5 шестнадцатеричных символов (14 бит). Формат кадра отражен на рисунке 5.

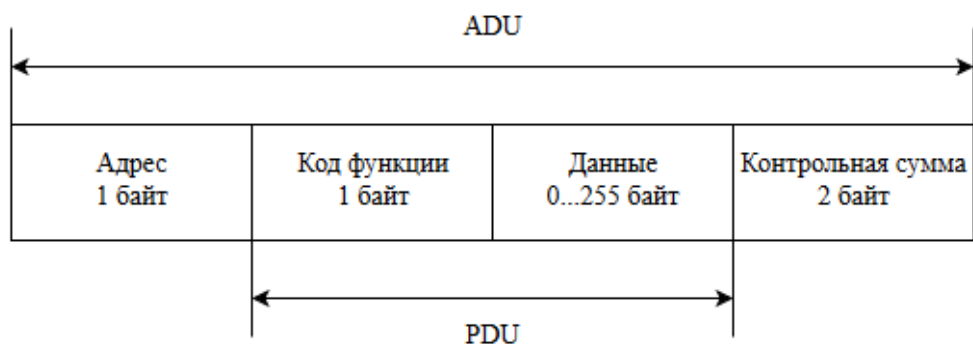


Рисунок 5 – Формат кадра Modbus RTU.

Поле «Адрес» размером 1 байт содержит информацию об адресе ведомого устройства. «Код функции» содержит требуемую команду, например, чтение значений из нескольких дискретных входов или запись значений в несколько регистров хранения и т. д. Поле «Данные» может содержать информацию в количестве до 255 байт. И поле «Контрольная сумма» содержит циклический избыточный код CRC размером 2 байта для проверки целостности передаваемых данных.

Структура данных в режиме RTU представлена на рисунке 6.

Стартовый бит	1 МРЗ	2	3	4	5	6	7	8	Бит паритета	Стоп-бит
---------------	----------	---	---	---	---	---	---	---	-----------------	----------

Рисунок 6 – Последовательность битов в режиме RTU

Младшие значащие разряды передаются вперед. Бит паритета служит для контроля четности (четный паритет) или нечетности (нечетный паритет) двоичных единиц в байте. Данный бит является опционным и может отсутствовать, а на его место записывается второй стоп-бит.

Прикладной уровень Modbus обеспечивает коммуникацию между устройствами «ведущий-ведомый» и не зависит от физического и канального, т.е. может использовать также протоколы Ethernet, TCP/IP (Modbus TCP).

При использовании протокола прикладного уровня сохраняется неизменным блок сообщения, включающий код функции и данные – PDU (элемент данных протокола). К блоку PDU могут добавлять дополнительные поля, и тогда он называется ADU (элемент данных приложения) [9].

Протокол Modbus TCP – протокол для подключения устройства с протоколом Modbus к Ethernet или к сети Internet. Модель OSI для Modbus TCP представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Модель OSI для Modbus TCP

Уровень	Название уровня	Реализация
7	Прикладной	Modbus application protocol
6	Уровень представления	–
5	Сеансовый	–
4	Транспортный	TCP
3	Сетевой	IP
2	Канальный	Ethernet
1	Физический	Витая пара, оптический кабель, коаксиальный кабель

Кадр Modbus TCP в данном случае немного отличается от кадра Modbus RTU (рисунок 7). Он встраивается в поле «Данные» фрейма Ethernet и посылается через специальный зарезервированный для Modbus TCP порт 502.

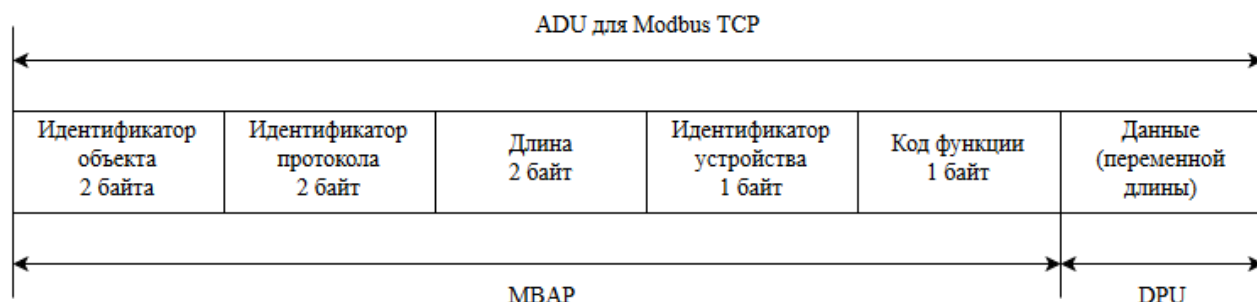


Рисунок 7 – Формат кадра Modbus TCP

В данном случае нет необходимости использовать контрольную сумму, так как она уже реализована на низших уровнях. Нет поля адреса, так как используется иная система адресации. Т. е. от кадра Modbus RTU остается неизменным блок PDU и добавляется новое поле МВАР (прикладной протокол Modbus).

«Идентификатор обмена» используется для определения сообщения, если в пределах одного TCP-соединения клиент посылает серверу несколько сообщений без ожидания ответа. «Идентификатор протокола» зарезервирован и содержит нули. В поле «Длина» указывается количество следующих за ним байтов. «Идентификатор устройства» определяет удаленный сервер, расположенный вне сети Ethernet.

## 1.6 Протокол МЭК-60870-5-104

Данный телемеханический протокол широко применяется в энергетике и основан на протоколе МЭК-60870-5-101, за исключением того, что МЭК-60870-5-104 использует на низших уровнях сетевые протоколы TCP/IP. А прикладной уровень (блок ASDU) остается неизменным.

Структура блока ASDU (таблицы 4, 5) состоит из «Идентификатора блока данных» и одного или нескольких «Объектов информации», каждый из которых включает в себя «Элементы информации».

Таблица 4 – Структура блока ASDU, содержащего  $i$  одноэлементных объектов информации

Содержание		Размер поля (в байтах)
Идентификатор типа	Идентификатор блока данных	1
Классификатор переменной структуры: $SQ = 0, i$		1
Причина передачи		1
Общий адрес станции		1,2
Адрес объекта информации №1	Объект информации №1	1,2,3
Элемент информации (комбинация элементов) №1		1,2,3,4,5
Время		0,3,7
Адрес объекта информации № $i$	Объект информации № $i$	1,2,3
Элемент информации (комбинация элементов) № $i$		1,2,3,4,5
Время		0,3,7

Таблица 5 – Структура блока ASDU, содержащего один объект из  $j$  элементов информации

Содержание		Размер поля (в байтах)
Идентификатор типа	Идентификатор блока данных	1
Классификатор переменной структуры: $SQ = 1, j$		1
Причина передачи		1
Общий адрес станции		1,2
Адрес объекта информации		1,2,3
Элемент информации (комбинация элементов) №1		1,2,3,4,5
Элемент информации (комбинация элементов) № $j$		1,2,3,4,5
Время		0,3,7

«Идентификатор блока данных» содержит 1 байт «Идентификатор типа» (Тип объектов информации), 1 байт «Классификатор переменной структуры», 1 байт «Причина передачи» и 1 байт «Общий адрес станции».

Первые два поля определяют тип, длину, структуру блока данных и количество, тип объектов информации. «Причина передачи» прилагается для пояснения источника, ин иницирующего передачу данных в канал. «Общий адрес станции» является уникальным адресом в сети. «Адрес объекта информации» является идентификатором объекта информации [10].

## 2 Объект и методы исследования

### 2.1 Введение

Объектом исследования является блок электротехнических устройств на токамаке КТМ. Блок электротехнических устройств включает в себя головной трансформатор 220/10 кВ, закрытое распределительное устройство (ЗРУ) 10 кВ, преобразовательные трансформаторы для питания обмоток токамака, шкафы защиты трансформаторов.

Сигналы о текущих параметрах и состоянии данных устройств передаются на сервисный компьютер ОПУ БЭУ. Далее они отправляются на сам оперативный пульт управления, центральный пульт управления. При помощи ОПУ БЭУ имеется возможность управления отдельными элементами блока электротехнических устройств. На РДЦ Восточные МЭС данные передаются с ОПУ БЭУ.

Общая схема соединений ОПУ БЭУ представлена на рисунке 8.

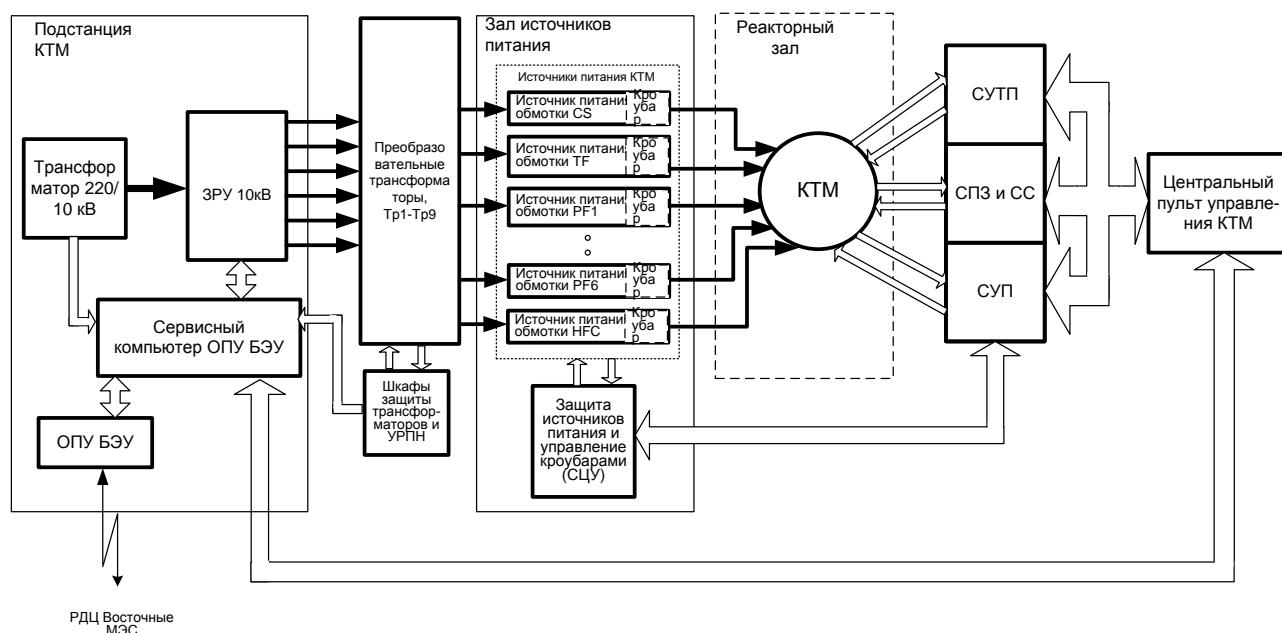


Рисунок 8 – Схема соединений ОПУ БЭУ

					<b>643.ФЮРА.00014-01 81 01</b>					
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<b>Объект и методы исследования</b>					
<i>Разраб.</i>	<i>Матаннанов</i>							<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Павлов</i>									
<i>Консульт</i>										
<i>Н. Контр.</i>	<i>Ефремов</i>									
<i>Утверд.</i>	<i>Горюнов</i>									
					ТПУ ФТИ Группа 0712					



Методы исследования заключаются в изучении устройств, входящих в состав блока электротехнических устройств и составления перечня сигналов, поступающих от элементов блока на сервисный компьютер ОПУ БЭУ.

## 2.2 Элементы блока электротехнических устройств

Система электроснабжения токамака КТМ представлена подстанцией №51. Здесь расположен головной силовой трансформатор ТРДЦ-100000/200000/220 У1 (рисунок 9).



Рисунок 9 – Головной силовой трансформатор

Данный силовой трансформатор является трехфазным с расщепленной обмоткой низшего напряжения (НН) с принудительной циркуляцией воздуха и масла с ненаправленным потоком масла [11]. Основная функция трансформатора заключается в понижении напряжения с 220 кВ до 10 кВ.

Для защиты трансформатора имеются микропроцессорные устройства релейной защиты (МУРЗ) Сириус-Т и Сириус-УВ, которые принимают сигналы от первичных преобразователей: трансформаторов тока, трансформаторов

напряжения, газового реле и других. МУРЗ посылают управляющие сигналы для предотвращения аварий и их последствий и передают информацию на верхний уровень АСДУ. Поясняющая схема защит трансформатора представлена в приложении А.

Сигналы от головного трансформатора и его защит отображены в приложении Б.

Далее ток с трансформатора поступает на распределительное устройство 10 кВ (рисунок 10)

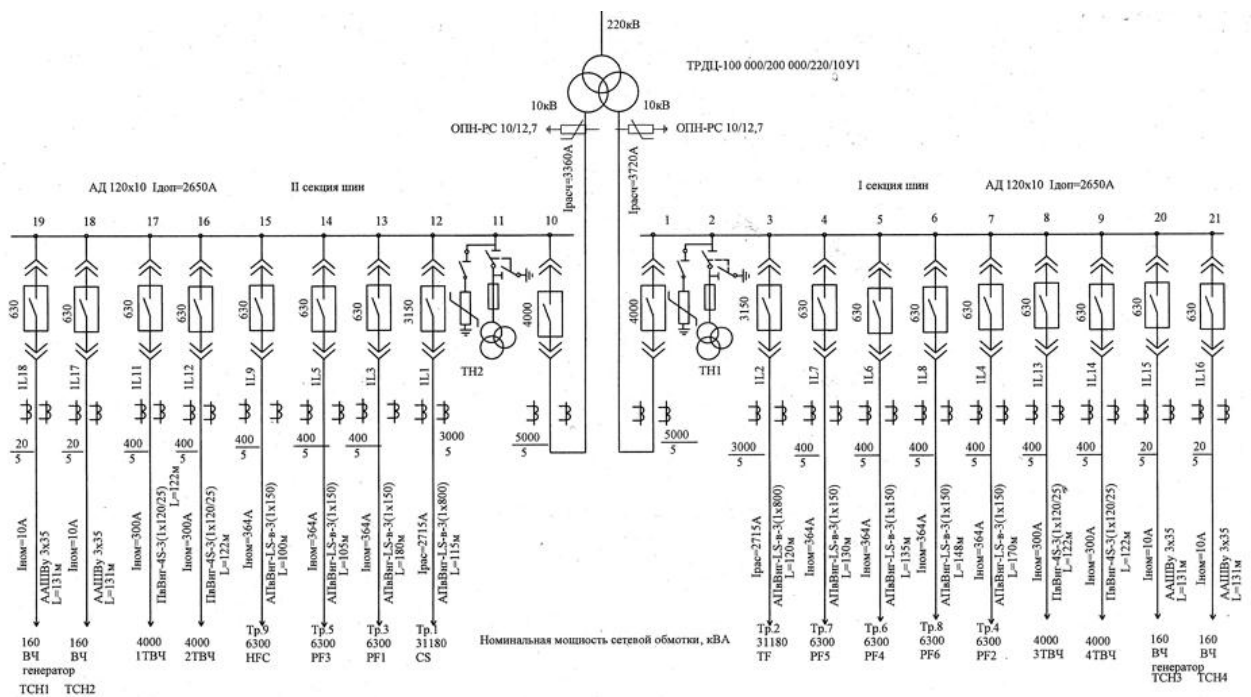


Рисунок 10 – Схема электропитания 220/10 кВ

Ограничители напряжения ОПН-РС 10/12,7 стоят после обмоток НН, рассчитанные на максимальное напряжение 12,7 кВ. Далее по двум шинам АД 120x10 ток распределяется через распределительные устройства к преобразовательным трансформаторам для питания обмоток токамака. Также ток идет на трансформаторы ТН1, ТН2, необходимых для собственных нужд подстанции. Сигналы контроля элементов ЗРУ-10 кВ приведены в приложении Б.

Преобразовательные трансформаторы для питания обмоток КТМ представлены двумя типами (рисунок 11).



Рисунок 11 – Преобразовательные трансформаторы для питания обмоток

Первый тип преобразовательного трансформатора питает CS и TF обмотки токамака – это пятиобмоточный трансформатор ТДЦНП-50000/10НПУ1. Остальные обмотки питаются от трехобмоточного трансформатора ТДНП-12500/10У1. В шкафах защит трансформаторов (ШЗТ) для пятиобмоточных трансформаторов стоят МУРЗ типа Сириус-ТЗ. В остальных шкафах находится микропроцессорная релейная защита МКЗП-Микро. Сигналы от ШЗТ приведены в приложении Б

Кроме того на подстанции №51 установлен счетчик электрической энергии МИР-03.02Т-ЕВN-RR-IT-Н. Для передачи данных на сервисный компьютер ОПУ БЭУ используют линию ВЧ-связи. Аппаратура ВЧ-связи представлена двумя комплектами АКСТ – один со стороны подстанции №51, другой со стороны подстанции КТМ. К этим комплектам подключаются специальные модемы МИР МР2, к которым уже можно подключить компьютерное оборудование.

### **2.3 Информационные соединения с сервисным компьютером ОПУ БЭУ**

Схема информационных соединений с сервисным компьютером ОПУ БЭУ представлена на рисунке 12.

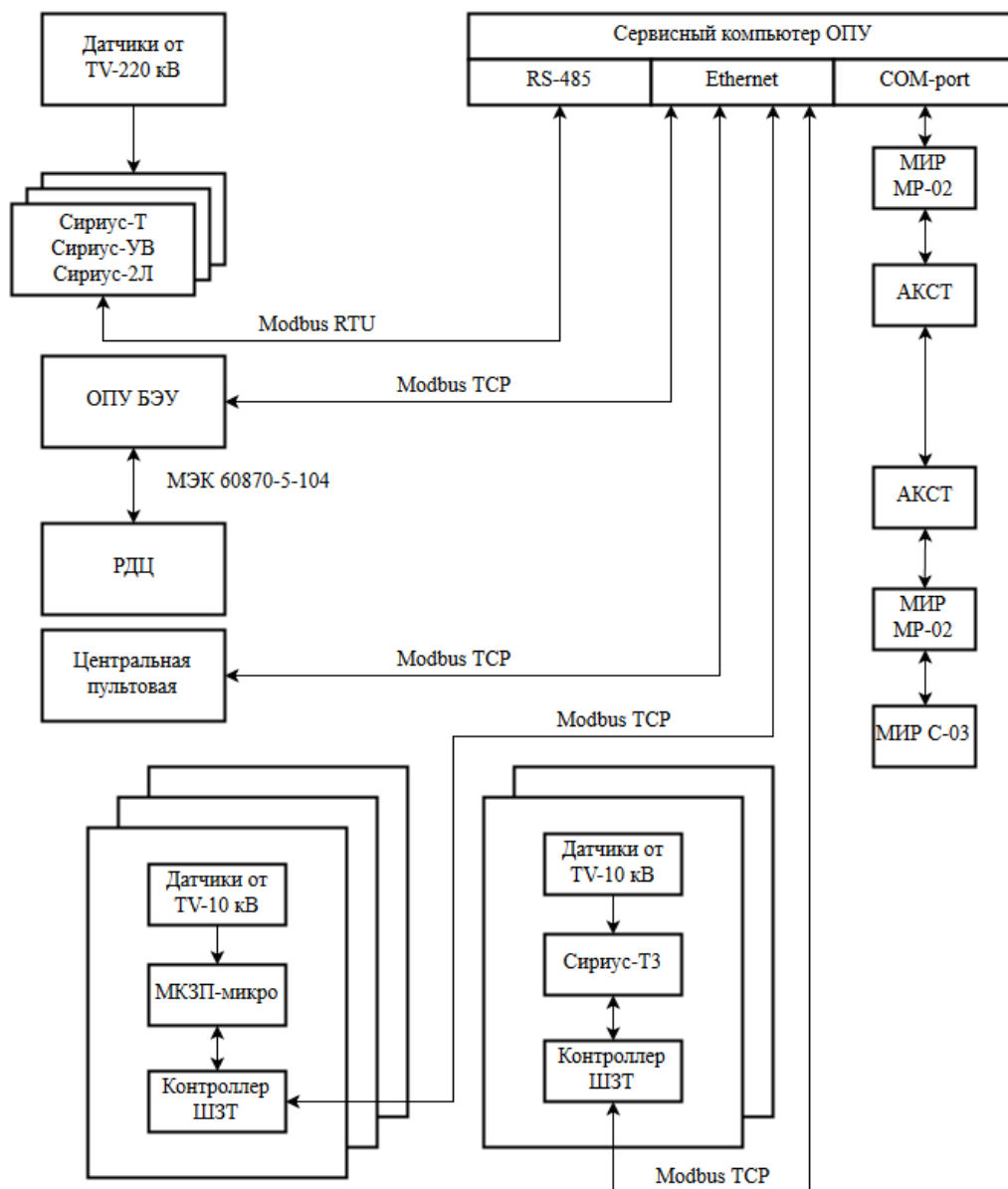


Рисунок 12 – Схема информационных соединений с сервисным компьютером ОПУ БЭУ

На данном рисунке видим, что МУРЗ от головного силового трансформатора и ЗРУ-10 кВ соединяются с сервисным компьютером ОПУ БЭУ по протоколу Modbus RTU, используя в качестве физического уровня RS-485. Шкафы защит преобразовательных трансформаторов и сам оперативный пульт управления блоком электротехнических устройств соединяются по Ethernet каналу при помощи протокола Modbus TCP. Также по последовательному интерфейсу RS-232 подключается модем для связи со счетчиком электрической энергии. Общая структура информационных потоков отражена в приложении В.

## 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 5.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Для повышения конкурентоспособности разработок необходимо проводить детальный анализ разработок конкурентов. Данный анализ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволит оценить степень эффективности проекта и определить направления для его улучшения.

Сравнение разрабатываемого программного обеспечения проводилось с программным обеспечением, выполняющие схожие функции на уже имеющихся токамаках, таких как JT-60 (Бк1) и T-15 (Бк2)

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия, %	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1 Достоверность полученных данных	25	5	5	5	1,25	1,25	1,25
2 Повышение производительности труда пользователя	15	5	5	4	0,75	0,75	0,6
3 Простота эксплуатации	15	5	3	2	0,75	0,45	0,3

<i>643.ФЮРА.00014-01 81 01</i>				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Матаннанов</i>			
<i>Провер.</i>	<i>Павлов</i>			
<i>Консульт</i>	<i>Меньшикова</i>			
<i>Н. Контр.</i>	<i>Ефремов</i>			
<i>Утверд.</i>	<i>Горюнов</i>			
<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение</i>				
		<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
		<i>ТПУ</i>	<i>ФТИ</i>	
		<i>Группа</i>	<i>0712</i>	

Продолжение таблицы 6

6 Качество интеллектуального интерфейса	10	4	4	4	0,4	0,4	0,4
7 Гибкость системы	5	2	1	1	0,1	0,05	0,05
8 Безопасность	5	5	5	4	0,25	0,25	0,2
9 Потребность в ресурсах памяти	2,5	4	3	4	0,1	0,075	0,1
10 Энергоэкономичность	2,5	4	4	3	0,1	0,1	0,075
Итого	100	43	39	34	4,6	4,265	3,675

Для заключительной оценки поделим значение конкурентоспособности разрабатываемого проекта к максимальному из значений конкурентоспособности других разработок:

$$\frac{K_{\phi}}{K_{kl}} = \frac{4,6}{4,265} = 1,08 \quad (2)$$

Так как полученное отношение больше 1, то можно сказать, что разрабатываемое программное обеспечение конкурентоспособно. Благодаря наиболее значимым критериям, по которым разрабатываемое программное обеспечение обходит конкурентов (повышение производительности труда пользователя, простота эксплуатации, функциональная мощность), оно способно завоевать доверие покупателей и купить данный проект.

## 5.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ – это комплексный анализ проекта для исследования внешней и внутренней среды проекта. Для его составления необходимо указать сильные, слабые стороны проекта, а также внешние возможности и угрозы. И необходимо на основе выявленных сторон определить стратегии дальнейшего продвижения проекта.

Таблица 7 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Выполнение требуемых функций в режиме реального времени.</p> <p>С2. Открытое для модернизации ПО.</p> <p>С3. Отсутствие конкурентов.</p> <p>С4. Удобный интерфейс оператора</p> <p>С5. Минимальные затраты на разработку ПО</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Сжатые сроки на разработку проекта.</p> <p>Сл2. Трудоемкость проекта.</p> <p>Сл3. Узкоспециализированное ПО.</p>
<p>Возможности проекта:</p> <p>В1. Выпуск дополнительных библиотек, версий SCADA-системы для облегчения работ.</p> <p>В2. Заинтересованность в завершении строительства установки правительств многих стран.</p> <p>В3. Финансовая поддержка в строительстве от правительств Казахстана, РФ, Белоруссии.</p>	<p>Продажа разработанного ПО по максимально выгодной цене.</p>	<p>Отслеживание информации об обновлениях SCADA-системы, в которых ожидаются дополнительные функции для облегчения работ.</p>

Продолжение таблицы 7

<p>В4. Возможный приезд научных сотрудников, работающих на токамаке, у которых можно лично узнать о деталях работы.</p>		
<p>Угрозы проекта:  У1. Угроза изменения требований заказчика из-за возможных изменений в строительстве термоядерной установки.  У2. Возможная смена правительства в Казахстане, у которой могут быть иные планы по разработке токамака.  У3. Нестабильная обстановка в мире, которая может обернуться сменой приоритетов в сторону разработки военного вооружения и перенаправления финансирования.</p>	<p>Создание гибкого ПО, позволяющее без особых трудозатрат переработать отдельные свойства проекта при корректировке или полном изменении технического задания.</p>	<p>Постоянная связь с заказчиком для выявления изменений или скрытых требований к проекту с целью своевременного предотвращения затрат на неактуальную работу.</p>

На основе SWOT-анализа можно сделать вывод о том, что разрабатываемое программное обеспечение имеет сильнейшую сторону в виде отсутствия конкурентов, так как оно узкоспециализированное. Тем не менее, из-за сжатых сроков разработки и потенциальных внешних угроз необходимо



держат связь с заказчиком для своевременного предупреждения об изменении требований к проекту.

### 5.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценка готовности к коммерциализации отображает насколько готов проект к получению прибыли и выявляет уровень знаний разработчика для этого.

Таблица 8 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности	Уровень знаний у разработчика
1 Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
2 Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	2	2
3 Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	3
4 Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5 Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	1
6 Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	2
7 Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1

Продолжение таблицы 8

8 Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9 Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	2
10 Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2
11 Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12 Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13 Проработаны вопросы финансирования научной разработки	3	2
14 Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15 Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
Итого баллов	36	31

По результатам оценки готовности проекта к коммерциализации можно сделать вывод о том, что перспективность разрабатываемого проекта не высокая, но и не совсем неперспективная. Для дальнейшего продвижения необходимо проработать бизнес-план, позаботиться об охране прав и найти команду для коммерциализации научного проекта.

Методом коммерциализации результатов научно-технического исследования будет являться передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия, так данный метод предполагает быструю окупаемость проекта и соответствует требованиям заказчика.

## 5.4 Инициация проекта

Инициация проекта определяет изначальные цели и финансовые ресурсы. Определяются заинтересованные стороны, которые влияют на общий ход и результат проекта.

Таблица 9 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
ИАЭ НЯЦ РК, г. Курчатов	Готовое ПО, выполняющее требуемые функции.
НИ ТПУ, кафедра ЭАФУ	Использование ПО в качестве обучающих программ для студентов. Публикации о разработке ПО.

Таблица 10 – Цели и результат проекта

Цели проекта	Создать программное обеспечение, обеспечивающее сбор, хранение и предоставление информации о контролируемых параметрах блока электротехнических устройств подстанции КТМ на оперативном пульте управления
Ожидаемые результаты проекта	Программное обеспечение, обеспечивающее сбор, хранение и предоставление информации о контролируемых параметрах блока электротехнических устройств подстанции КТМ на оперативном пульте управления
Критерии приемки результата проекта	Проверка ПО на правильность обработки команд оператора. Проверка ПО на правильность отображения всех требуемых параметров.

Продолжение таблицы 10

Требования к результату проекта	Выполнение всех требуемых функций.
	Разработка ПО должна проводиться в SCADA-системе Trace Mode
	Мнемосхемы должны придерживаться стандарта СТО 56947007-29.240.10.035–2009
	Размеры мнемосхем должны укладываться в разрешающую способность экрана ОПУ БЭУ - 1920x1080
	Разрабатываемое ПО должно быть совместимо с MS Windows 10

Таблица 11 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, ч
Павлов В.М., ТПУ, кафедра ЭАФУ, доцент	Научный руководитель	Выдача задания, консультирование	90
Матаннанов И.И., ТПУ, кафедра ЭАФУ, студент	Разработчик	Анализ литературы, разработка ПО, экспериментальная проверка	510

Таблица 12 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
Бюджет проекта	66813,6
Источник финансирования	–
Сроки проекта	27.01.2017
Дата утверждения плана управления проектом	03.10.2016
Дата завершения проекта	27.01.2017
Прочие ограничения и допущения	–

### 5.5 План проекта

В рамках плана проекта требуется построить Диаграмму Ганта – гистограмму, которая иллюстрирует календарный план проекта.

Таблица 13 – Диаграмма Ганта

Код работы	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ										
				октябрь			ноябрь			декабрь				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление задания на ВКР	Руководитель	5	■										
2	Изучение литературы	Дипломник	15		■	■								
3	Составление списка сигналов, поступающих на ОПУ БЭУ	Дипломник	5			■								
4	Разработка мнемосхем	Дипломник	15				■	■						
5	Разработка программы	Дипломник	30						■	■	■	■		
6	Проведение экспериментов и устранение ошибок	Дипломник Руководитель	10										■	
7	Оформление работы	Дипломник	10										■	■

 – научный руководитель; 
  – дипломник

## 5.6 Бюджет научного исследования

Данный раздел включает в себя расчет основной заработной платы научных и инженерно-технических работников. Расходы определяются из трудоемкости выполняемых работ.

Основная заработная плата работника рассчитывается по формуле 3:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (3)$$

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

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника;

$T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, выполняемых работником.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 4:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – оклад работника;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в год;

$F_{\text{д}}$  – годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (5)$$

где  $Z_{\text{б}}$  – базовый оклад;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент;

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска;

Оклад руководителя составляет 26300 рублей.

Месячный должностной оклад руководителя:

$$З_{\text{м}}^{\text{Рук}} = 26300 \cdot (1 + 0) \cdot 1,3 = 34190 \text{ рублей} \quad (6)$$

Месячный должностной оклад дипломника:

$$З_{\text{м}}^{\text{Дип}} = 7483,58 \cdot (1 + 0) \cdot 1,3 = 9728,65 \text{ рублей} \quad (7)$$

Среднедневная заработная плата руководителя:

$$З_{\text{дн}}^{\text{Рук}} = \frac{34190 \cdot 10,4}{299} = 1189,22 \text{ рублей} \quad (8)$$

Среднедневная заработная плата дипломника:

$$З_{\text{дн}}^{\text{Дип}} = \frac{9728,65 \cdot 10,4}{299} = 338,39 \text{ рублей} \quad (9)$$

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

Этап	Исполнитель	Трудоемкость, чел. дн.	З/п в дн., р.	Всего з/п, р.
Составление задания на ВКР	Руководитель	5	1189,22	5946,1
Изучение литературы	Дипломник	15	338,39	5075,85
Составление списка сигналов, поступающих на ОПУ БЭУ	Дипломник	5	338,39	1691,95



Продолжение таблицы 14

Разработка мнемосхем	Дипломник	15	338,39	5075,85
Разработка программы	Дипломник	30	338,39	10151,7
Проведение экспериментов и устранение ошибок	Дипломник Руководитель	10	338,39 1189,22	15276,1
Оформление работы	Дипломник	10	338,39	3383,9
Итого				46601,45

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_b$ , руб	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб	$T_p$ , раб. дн	$Z_{осн}$ , руб
Руководитель	26300	1	0	1,3	34190	1189,22	15	17838
Дипломник	7483,58	1	0	1,3	9728,65	338,39	85	28763

## 5.7 Накладные расходы

Основным потребляемым сырьем в данной научной разработке является потребление электроэнергии компьютером. Расчета стоимости потребляемой электроэнергии определяется по формуле (10).

$$C_{\text{эз}} = 6 \cdot Д \cdot Т \cdot М, \quad (10)$$

где 6 – 6-часовой рабочий день;

Д – продолжительность работ;

Т – тариф на электроэнергию;

М – мощность, потребляемая ноутбуком.

По техническим характеристикам, ноутбук потребляет 90 Вт электроэнергии. Стоимость одного киловатт-часа электроэнергии составляет 5,8 рублей. Значит, за 6 часовой рабочий день затраты на работу ноутбука составят:  $6 \cdot 1 \cdot 5,8 \cdot 10^{-3} \cdot 90 = 3,13$  рублей.

## 5.8 Специальное оборудование для научных работ

В данном разделе включают затраты на приобретение специального оборудования для проведения работ. В качестве затрат на спецоборудование следует отнести ноутбук, который использовался как средство разработки. При приобретении спецоборудования необходимо учесть амортизацию. Для расчета амортизации используем линейный метод формула (11).

$$K = \left( \frac{1}{n} \right) \cdot 100 \%, \quad (11)$$

где  $K$  – норма амортизации в процентах к первоначальной стоимости объекта амортизируемого имущества;

$n$  – срок полезного использования данного объекта амортизируемого имущества, выраженный в месяцах.

Пусть срок полезного использования равен 5 лет. Тогда  $(1/60) \cdot 100 \% = 1,67 \%$ . Месячная амортизация равна  $17000 \cdot 0,0167 = 283,9$  р. Тогда сумма амортизации на период разработки проекта равна  $283,9 \cdot 3 = 850$  р.

Таблица 16 – Затраты на специальное оборудование для научных работ

Наименование оборудования	Кол-во ед. оборудования	Цена ед. оборудования, р.	Общая стоимость оборудования, р.
Ноутбук Emachines E732ZG	1	17000	850

Таблица 17 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Основная з/п	Отчисления на соц. нужды (30 %)	Затраты на спецоборудование	Накладные расходы на электроэнергию	Итого себестоимость
1	5946,1	1783,83	850	15,65	8595,58
2	5075,85	1522,75		46,95	7495,55
3	1691,95	507,59		15,65	3065,19
4	5075,85	1522,75		46,95	7495,55
5	10151,7	3045,51		93,9	14141,1
6	15276,1	4582,83		31,3	20740,2
7	3383,9	1015,17		31,3	5280,37
Итого					66813,6

## 5.9 Реестр рисков проекта

Риски проекта – возможные события, которые могут негативно повлиять на проект.

Таблица 18 – Реестр рисков

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
Изменения требований заказчика	Переделывание проекта	4	3	средний	Периодически переговариваться с заказчиком	Изменения в строительстве термоядерной установки
Перемена планов правительства по разработке токамака	Прекращение строительства токамака	2	5	низкий	Узнавать новости о политике в Казахстане для дальнейшего планирования работ	Смена правительства в Казахстане
Прекращение финансирования установки токамак	Приостановка строительства токамака	2	5	низкий	Узнавать мировые новости для дальнейшего планирования работ	Смена приоритетов источников финансирования

## 5.10 Оценка сравнительной эффективности исследования

Для оценки эффективности исследования нужно рассчитать интегральный показатель эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением финансовой эффективности  $I_{\phi}^p$  и ресурсоэффективности  $I_m^p$ .

Стоимость исполнения разрабатываемого проекта составляет 66813,6 рублей. Максимальную стоимость исполнения научно-исследовательского проекта примем равной 1000000 рублей. Цену за программное обеспечение аналога 500000 рублей.

Интегральный финансовый показатель разработки  $I_{\phi}^p$  определяется по формуле (12):

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (12)$$

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

$\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т. ч. аналоги), тогда

$$I_{\phi}^p = \frac{66813,6}{1000000} = 0,0668 \quad (13)$$

Интегральный финансовый показатель аналога  $I_{\phi}^a$  определяется по формуле (14):

$$I_{\phi}^a = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} \quad (14)$$

$$I_{\phi}^a = \frac{500000}{1000000} = 0,5 \quad (15)$$

Интегральные показатели ресурсоэффективности рассчитаны по таблице 19.

Таблица 19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент	Текущий проект	Аналог
1 Способствует росту производительности	0,25	5	5
2 Удобство в эксплуатации	0,25	5	3
3 Помехоустойчивость	0,1	4	4
4 Энергосбережение	0,1	4	4
5 Надежность	0,2	5	5
6 Материалоемкость	0,1	5	5
Итого	1	28	26

$$I_m^p = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 = 4,8 \quad (16)$$

$$I_m^a = 5 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 = 4,3 \quad (17)$$

Интегральный показатель эффективности разработки  $I_{финр}^p$  определяется по формуле (18):

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} \quad (18)$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{4,8}{0,0668} = 71,86 \quad (19)$$

Интегральный показатель эффективности аналога  $I_{\text{финр}}^a$  определяется по формуле (20):

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a} \quad (20)$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{4,3}{0,5} = 8,6 \quad (21)$$

Сравнительная эффективность проекта  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$  определяется по формуле (22):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} \quad (22)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} = \frac{71,86}{8,6} = 8,36 \quad (23)$$

Результаты расчетов сравнительной эффективности проекта приведены в таблице 20.



Таблица 20 – Сравнительная эффективность проекта

Показатели	Аналог	Разработка
Интегральный финансовый показатель разработки	0,5	0,0668
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,3	4,8
Интегральный показатель эффективности	8,6	71,86
Сравнительная эффективность проекта	8,36	

Из таблицы видно, что сравнительная эффективность проекта имеет высокий коэффициент больший 1, это говорит о том, что в сравнении с аналогом разрабатываемый проект требует меньше капитальных вложений и является наиболее эффективным.