

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

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
 Отделение школы (НОЦ электроэнергетики и электротехники)

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Разработка общих принципов построения интеллектуального устройства отключения нагрузки</b>

УДК 621.3.016.3:621.316.54

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM83	Чернов Иван Романович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Абеуов Ренат Болтабаевич	К.Т.Н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицина Любовь Юрьевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Фех Алина Ильдаровна			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Бацева Н.Л.	К.Т.Н., доцент		

Томск – 2020 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

**по основной образовательной программе подготовки магистров**

**13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>Универсальные компетенции</b>		
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.	Требования ФГОС (ОК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ПК-31), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.	Требования ФГОС (ОК-8, ОК-9, ПК-14, ПК-19), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<b>Профессиональные компетенции</b>		
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.	Требования ФГОС (ПК-1, 2, 36), Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.	Требования ФГОС (ПК-5, 6, 7,9). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.	Требования ФГОС (ПК-10, 11, 12, 13). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.	Требования ФГОС (ПК-14, 36, 39 –44). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.	Требования ФГОС (ПК-19, ПК-23, ПК-27, ПК-30, ПК-31, ПК-32), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.	Требования ФГОС (ПК-45, ПК-46), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.	Требования ФГОС (ПК-15, ПК-47, ПК-48, ПК-49, ПК-50), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.	Требования ФГОС (ПК-28, ПК-33, ПК-40, ПК-41, ПК-44), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI



<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Разработка интеллектуального устройства отключения нагрузки содержащее в себе функции АОСН и УОН.</p>
---	--

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Сформулировать основные принципы построения устройства, разработать алгоритм и структурно-функциональную схему, выполнить моделирование в Matlab Simulink.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Модель в среде визуального программирования Matlab Simulink

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Любовь Юрьевна
Социальная ответственность	Фех Алина Ильдаровна
Problem solving at substations of the distribution network in case of emergency situations in the electric power plant	Егорова Юлия Ивановна

<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>
Введение
Проблемы и способы поддержания напряжения на подстанциях распределительной сети при возникновении аварийных ситуаций в ЭЭС
Проблемы ограничения нагрузки на подстанциях распределительной сети при возникновении системных аварий в ЭЭС
Заключение
Introduction
Problems and ways of voltage maintaining at substations of the distribution network in case of emergency situations in the electric power plant.
Problems of load limitation at substations of the distribution network in case of system accidents in EPS
Conclusion

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	17.02.2020
--	------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Абеуов Р.Б.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM83	Чернов Иван Романович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM83	Чернову Ивану Романовичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02

Тема ВКР:

Разработка общих принципов построения интеллектуального устройства отключения нагрузки	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Разработка устройства отключения нагрузки в визуальной среде программирования Matlab. Рабочей зоной является 250 аудитория 8 корпуса ТПУ.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: <ul style="list-style-type: none"> <li>– шум;</li> <li>– Электромагнитные поля;</li> <li>– температура;</li> <li>– недостаточное освещение;</li> </ul> Опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> <li>– поражение электрическим током.</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Влияние объекта на окружающую среду. Мероприятия по защите окружающей среды.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Безопасность в ЧС: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Перечень возможных ЧС;</li> <li>– Выбор наиболее характерного ЧС;</li> <li>– Мероприятия по предотвращению ЧС.</li> </ul>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	17.02.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Фех Алина Ильдаровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM83	Чернов Иван Романович		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM83	Чернову Ивану Романовичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	13.04.02

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Определить стоимость материально-технических и трудовых ресурсов для выполнения работы. При проведении научного исследования задействованы два человека: студент (инженер) и руководитель
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Заработная плата определяется по таблице окладов НИ ТПУ;
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30,2%.

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Оценка коммерческого потенциала научно-технического проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Разработка плана реализации НИР; Определение затрат на оплату труда и материально-технических ресурсов, рисков проекта
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Расчет экономической эффективности проекта, оценка его научно-технического уровня

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. Календарный план проекта и диаграмма Ганта
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
6. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.04.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицина Любовь Юрьевна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM83	Чернов Иван Романович		



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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Уровень образования магистратура

Отделение электроэнергетики и электротехники

Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация
--------------------------

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

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
13.03.2020	Описание предметной области и задач исследования	10%
21.03.2020	Описание существующих способов и средств поддержания режимных параметров ЭЭС	10%
1.04.2020	Разработка общих требований	10%
7.04.2020	Выполнение раздела «Социальная ответственность»	10%
13.04.2020	Выполнение раздела «Финансовый менеджмент»	10%
19.04.2020	Разработка алгоритма работы	10%
25.04.2020	Разработка структурно-функциональной схемы	10%
1.05.2020	Моделирование работы	10%
15.05.2020	Раздел, выполняемый на иностранном языке	10%
23.05.2020	Выполненная выпускная квалификационная работа	10%

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Абеуов Ренат Болтабаевич	к.т.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Бацева Н.Л.	к.т.н., доцент		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 113 с., 44 рис., 13табл., 34 источника, 2 прил.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, энергоузел, противоаварийная автоматика, автоматика ограничения снижения напряжения, отключение нагрузки.

Объектом исследования является (ются) алгоритм интеллектуального устройства отключения нагрузки.

Цель работы – разработка концепции построения интеллектуального устройства, осуществляющей функции автоматики ограничения снижения напряжения и отключения нагрузки по факту приема внешнего сигнала, позволяющей уменьшить избыточное воздействие ПА.

В процессе исследования проводилось моделирование работы логики устройства в программном комплексе Matlab Simulink.

В результате проведенных исследований разработана концепция построения интеллектуального устройства отключения нагрузки применительно к подстанции распределительной сети 220 кВ.

Область применения: в составе комплекса противоаварийной автоматики подстанций энергосистемы.

## Список сокращений

- АЭС – атомная электрическая станция;
- АВР – автоматический ввод резерва;
- АОСН – автоматика ограничения снижения напряжения;
- АОСЧ – автоматика ограничения снижений частоты;
- АПВ – автоматическое повторное включение;
- АРВ – автоматическое регулирование возбуждения;
- АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;
- АЧВР – автоматический частотный ввод резерва;
- АЧР – автоматическая частотная разгрузка;
- БСК – батарея статических конденсаторов;
- ГАО – графики аварийного ограничения;
- ГЭС (ГАЭС) – гидроэлектростанция (гидроаккумулирующая электрическая станция);
- ДАР – дополнительная разгрузка;
- ДС – деление энергосистемы;
- ЕЭС – Единая энергетическая система;
- КЗ – короткое замыкание;
- КУ – компенсирующее устройство;
- ОН – отключение нагрузки;
- НАПВ – автоматическое повторное включение по напряжению;
- ПА – противоаварийная автоматика;
- РЗА – релейная защита и автоматика;
- РМ – реактивная мощность;
- САОН – специальная автоматика отключения нагрузки;
- СК – синхронный компенсатор;
- СО ЕЭС – Системный оператор Единой энергетической системы;
- СПА – система противоаварийной автоматики;
- СТК – статический тиристорный компенсатор;

ТРГ – тиристорно-реакторная группа;  
УВ – управляющее воздействие;  
УОН – Устройство отключения нагрузки;  
УПК – устройство продольной компенсации;  
ФК – форсировка компенсации;  
ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь;  
ЧАПВ – частотное автоматическое повторное включение;  
ЭДС – электродвижущая сила;  
ЭС – электростанция;  
ЭСММ – электростанция малой мощности;  
ЭЭ – электрическая энергия;  
ЭЭС – электроэнергетическая система.

## Оглавление

Введение.....	15
Глава 1. Предметная область и задачи исследования .....	17
1.1 Проблемы и способы поддержания напряжения на подстанциях распределительной сети при возникновении аварийных ситуаций в ЭЭС ....	17
1.2. Проблемы ограничения нагрузки на подстанциях распределительной сети при возникновении системных аварий в ЭЭС .....	25
Выводы по главе 1 .....	27
Глава 2. Существующие способы и средства поддержания режимных параметров ЭЭС на подстанциях распределительной сети.....	29
Глава 3. Разработка общих требований к интеллектуальному устройству отключения нагрузки (ИУОН).....	36
3.1 Формулирование общих принципов построения интеллектуального устройства отключения нагрузки (ИУОН).....	36
3.2 Повышение эффективности функции автоматики ограничения снижения напряжения ИУОН.....	39
Выводы по главе 3.....	40
Глава 4. Формулирование общих конструктивных решений по разработке ИУОН .....	42
4.1. Разработка алгоритма работы ИУОН .....	42
4.2 Моделирование энергоузла .....	43
4.3 Моделирование автоматики ИУОН .....	48
4.4 Результаты расчетов и выводы по главе 4.....	55
Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	61
5.1 Предпроектный анализ .....	61
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	61
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений .....	62
5.1.3 SWOT – анализ .....	64
5.2 Структура работ в рамках научного исследования. ....	65
5.3 Стоимость научного исследования .....	68
5.4 Реестр рисков проекта .....	72
5.5 Определение экономической эффективности проекта .....	73
Выводы по главе 5.....	75

Глава 6. Социальная ответственность.....	77
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	78
6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	78
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. ..	79
6.2 Производственная безопасность.....	83
6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	83
6.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	84
6.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	86
6.3 Экологическая безопасность.....	88
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	89
6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	89
6.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	89
6.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	89
Выводы по главе 6.....	91
Заключение .....	92

## Введение

В современных энергосистемах противоаварийной автоматике (ПА) отводится значительная роль. Такие устройства должны обеспечивать: надежность энергосистемы, возможность перенаправления потоков мощности по ремонтным схемам, поддержка различных режимов и максимумов нагрузок.

В целях предотвращения нарушения устойчивости системы, необходимо мгновенное обнаружение и поспешная ликвидация недопустимых отклонений параметров системы средствами противоаварийного управления.

Существует несколько видов ПА:

- предотвращение нарушения устойчивости параллельной работы (АПНУ),
  - ликвидацию асинхронного режима (АЛАР),
  - ограничение снижения частоты (АОСЧ),
  - ограничение повышения частоты (АОПЧ),
  - ограничение снижения напряжения (АОСН),
  - ограничению перегрузки оборудования (АОПО)
- и др

Современные модели АОСН спроектированы так, что отключение потребителей происходит ступенчато. Чем больше ступеней, тем больше времени нужно для того, чтобы привести уровень напряжения в допустимые пределы. Также к этому всему можно добавить плохую избирательность потребителей.

Целью работы является разработка интеллектуального устройства содержание в себе АОСН и УОН, позволяющие повысить уровень надежности энергосистемы при аварийном снижении напряжения.

Для достижения цели необходимо:

- 1) Разработка алгоритмов интеллектуального устройства;
- 2) Моделирование данного устройства в среде MATLAB.

Актуальность данной разработки состоит в том, чтобы повысить надежность автоматики (снизить время) и избирательность потребителей.



## **Глава 1. Предметная область и задачи исследования**

### **1.1 Проблемы и способы поддержания напряжения на подстанциях распределительной сети при возникновении аварийных ситуаций в ЭЭС**

Сохранение нормального уровня напряжения в узлах энергосистемы, а также на шинах потребителей, представляет собой одну из основных задач качественного электроснабжения.

Просадки напряжения за пределы рекомендуемых значений, могут приводить к увеличению скольжения асинхронных двигателей и, как следствие, к перегрузке реактивным током питающих элементов; при наличии электросветильников в виде ламп накаливания – к значительному уменьшению их светоотдачи, а для люминесцентных ламп – к их погасанию [5].

Рост расхода мощности реактивной нагрузки при снижении частоты приводит к снижению напряжения в узлах нагрузки. Кроме того, при снижении частоты в некоторых случаях снижается напряжение на шинах электростанций. Характеристики ряда узлов нагрузки по напряжению таковы, что на определенном уровне, называемом критическим напряжением, может произойти нарушение устойчивости узла нагрузки (лавина напряжения). В таком случае происходит резкое возрастание потребления реактивной мощности и резкое снижение напряжения в узле, в результате этого происходит «опрокидывание» двигателей и полное обесточивание всего узла нагрузки или беспорядочное отключение значительной части потребителей, массовой саморазгрузки потребителей.

Как лавина частоты, так и лавина напряжения связаны с длительными отключениями потребителей. Ликвидация последствий таких аварий – восстановление питания отключенных потребителей, разворот тепловых электростанций – занимает достаточно продолжительное время [6].

Поддержание напряжения на определенном уровне в контрольных пунктах энергосистемы достигается за счет разумного сопровождения режима работы ЭЭС дежурным персоналом: применение источников реактивной мощности и синхронных компенсаторов, исключение перегрузки питающих элементов

системы, перенаправление потоков мощности по отдельным линиям электропередачи, разумный выбор коэффициентов трансформации повышающих и понижающих трансформаторов, а также совместной работой устройств автоматического регулирования возбуждения синхронных машин (двигателей, компенсаторов, генераторов), устройств, автоматически изменяющих под нагрузкой коэффициенты трансформации силовых трансформаторов, последовательных регулировочных трансформаторов и устройств, автоматически переключающих или плавно изменяющих емкостную нагрузку статических компенсаторов.

Для предотвращения снижения напряжения до уровня, при котором нарушается устойчивость системы и возникает лавина напряжения, на электростанциях и крупных промышленных предприятиях устанавливается подсистема автоматики ограничения снижения напряжения (АОСН).

Устройства АОСН осуществляют контроль за напряжением, и при его снижении учитывают его длительность. Также при контроле может учитываться не только само напряжение, но и его производная относительно времени. Доказательство для установки подобных устройств с АОСН следует производить с учетом зависимости нагрузки от напряжения, конденсаторных батарей, наличия АРПН на понижающих трансформаторах, шунтирующих реакторов, схемы и режимов электрической сети

Устройства АОСН действуют на:

- увеличение генерации реактивной мощности (осуществляют форсировку и увеличивают уставки регуляторов возбуждения СК, генераторов, форсировку конденсаторов и иных источников реактивной мощности);
- уменьшение потребления реактивной мощности (отключение шунтирующих реакторов (УШР), отключение нагрузки).

Существует определенная очередность управляющих воздействий АОСН:

- отключение шунтирующих реакторов,
- включение конденсаторов,

- форсировка и увеличение уставок возбуждения СК и генераторов станции,
- отключение нагрузки.[7]

1. Принудительное возбуждение синхронных машин - увеличение тока ротора синхронных машин путем постепенного увеличения уставки контроллера автоматического возбуждения, используется для предотвращения нарушений стабильности и обеспечения приемлемого режима после аварии.

Автоматическая форсировка возбуждения, осуществляемая устройствами автоматического регулирования возбуждения (АРВ), позволяет ускорить восстановление напряжения до нормального значения после отключения коротких замыканий (КЗ) и при самозапуске асинхронной нагрузки.

В нормальном режиме АРВ поддерживает напряжение на шинах станции в заданных пределах, т.е. определяет потребление или генерирование реактивной мощности ее распределение между синхронными генераторами станции и ограничение потребляемой реактивной мощности в зависимости от активной мощности. Также осуществляет выравнивание ЭДС для синхронных генераторов с напряжением на линиях станции.

При аварийных режимах АРВ производит быстрое увеличение тока возбуждения до максимального значения, которое является предельно допустимым для генераторов по условию термической стойкости обмоток возбуждения и быстрое снижение тока возбуждения для предотвращения разрушения изоляции или превышения уровня напряжения СГ при внезапных отключениях под нагрузкой или сбросах нагрузки.[8]

2. Форсировка компенсации в устройствах продольной компенсации реактивной мощности (ФК УПК) – повышение степени компенсации индуктивного сопротивления передачи мощности за счет увеличения емкостного сопротивления УПК, которое осуществляется отключением части параллельных рабочих ветвей конденсаторных батарей.

ФК УПК реализуется посредством расшунтирования конденсаторных батарей. Эффект действия ФК УПК заключается в увеличении емкостного реактанса в продольной проводимости связи и уменьшении эквивалентной индуктивной проводимости связи, что приводит к повышению предельных передаваемых мощностей и устойчивости.

3. Отключение шунтирующих реакторов используется для устранения нарушений устойчивости и ограничения снижения напряжения. Эффект действия отключения шунтирующих реакторов заключается в снижении эквивалентного реактанса связи при отключении реактора и в повышении предельных величин передаваемых мощностей и устойчивости. Отключение реактора при сниженном уровне напряжения изменяет баланс реактивной мощности и приводит к повышению напряжения [7].

4. Включение устройств поперечной компенсации передача реактивной мощности по линии электропередачи приводит к снижению напряжения, особенно заметному на воздушных линиях электропередачи, имеющих большое реактивное сопротивление. Кроме того, дополнительный ток, протекающий по линии, приводит к росту потерь электроэнергии. Компенсирующие реактивную мощность устройства (КУ) служат для генерации реактивной мощности непосредственно на месте потребления, подключаются параллельно нагрузке. В качестве таких КУ могут служить батареи конденсаторов, синхронные компенсаторы, статические тиристорные компенсаторы (все, кроме первого, способны как генерировать, так и поглощать РМ). При включении КУ в сети создается отрицательная добавка напряжения, в зависимости от того, регулируемое устройство или нерегулируемое, она 31 постоянна или переменна. Эффективность регулирования напряжения с помощью поперечных КУ выше в сетях с относительно большими реактивными сопротивлениями по сравнению с активными, и при установке устройств в наиболее удаленных от центров питания узлах.

Батареи статических конденсаторов (БСК) комплектуются из отдельных конденсаторов, соединенных последовательно (для увеличения рабочего напряжения) и параллельно (для увеличения мощности БК). Нерегулируемые

батареи конденсаторов имеют неизменное число конденсаторов, величина реактивной мощности зависит только от квадрата напряжения. У регулируемых (управляемых) в зависимости от режима автоматически или вручную число конденсаторов изменяется.

БСК получили на промышленных предприятиях наибольшее распространение как средство компенсации РМ. Основными их достоинствами являются:

- 1) незначительные потери активной мощности;
- 2) отсутствие вращающихся частей и сравнительно малая масса установки, следовательно, отсутствие необходимости в фундаменте;
- 3) более простая и дешевая эксплуатация относительно других компенсирующих устройств;
- 4) возможность увеличения или уменьшения установленной мощности в зависимости от потребности;
- 5) возможность установки статических конденсаторов в любой точке сети.

Однако БСК имеют следующие недостатки:

- 1) только выработка РМ;
- 2) ступенчатое регулирование напряжения;
- 3) отрицательный регулирующий эффект по напряжению, то есть величина выработанной РМ зависит от напряжения сети.

Синхронные компенсаторы (СК) представляют собой синхронные двигатели, работающие в режиме холостого хода без нагрузки на валу. Потребляемая им активная мощность при пренебрежении потерями холостого хода равна нулю, СК загружен только реактивным током.

Положительные свойства СК:

- 1) возможность увеличения генерируемой мощности при понижении напряжения в сети вследствие регулирования тока возбуждения – положительный эффект по напряжению;
- 2) возможность плавного и автоматического регулирования генерируемой реактивной мощности.

Кроме того, возможна как выдача, так и потребление реактивной мощности синхронным компенсатором. Однако синхронные компенсаторы обладают всеми недостатками вращающихся машин – требуют охлаждения, смазки, обслуживания и ремонта. Кроме того, имеют большие потери активной мощности и более высокую стоимость.

Статический тиристорный компенсатор (СТК) - это поперечно-подключаемый статический генератор или потребитель реактивной мощности, обеспечивающий поддержку емкостным или индуктивным током для изменения напряжения системы.

Представляет собой тиристорно-управляемые или тиристорно-коммутируемые реакторы (тиристорно-реакторная группа), и/или тиристорно-коммутируемые конденсаторы (тиристорно-конденсаторная группа) или их комбинацию. СТК построены на базе однооперационных тириستоров.

СТК предназначены для регулирования напряжения и реактивной мощности в электрических сетях, повышения предела передаваемой мощности. При регулировании напряжения и реактивной мощности в электрических сетях обычным является подключение СТК в обмотку низкого напряжения (10 кВ) автотрансформаторов.

Микропроцессорная система управления обеспечивает расчет угла управления тиристоров, в зависимости от которого изменяется потребляемая реактивная мощность тиристорно-реакторных групп. Изменение реактивной мощности происходит по статической 1 или астатической 2 вольт-амперной характеристике, изображенные на рисунке 1.1.

Если при увеличении нагрузки или управлении режимом напряжение уменьшается, то СТК переходит в точку  $e$  – угол управления тиристорами увеличивается, постепенно снижая загрузку ТРГ. Если в результате регулирования достигнут угол в 180 градусов (предел регулирования), то производится включение конденсаторов. При достижении предела регулирования на СТК напряжение меняется ступенчато (СТК переходит в точку  $g$ ) и тиристорно-реакторная группа

по новой загружается по реактивной мощности до достижения нового установившегося значения (точка h).

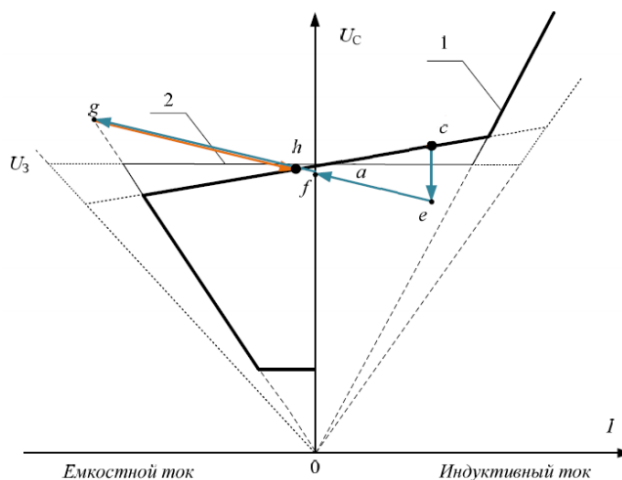


Рисунок 1.1 – Статические вольт-амперные характеристики СТК и траектория переходов между установившимися режимами работы СТК

Статическая характеристика СТК, приведенная на рисунке 1.2, иллюстрирует квадратичную зависимость ограничения выдачи и потребления реактивной мощности от напряжения в точке присоединения. СТК, как и 34 неуправляемые средства компенсации, неэффективен при значительных просадках напряжения в точке его присоединения.

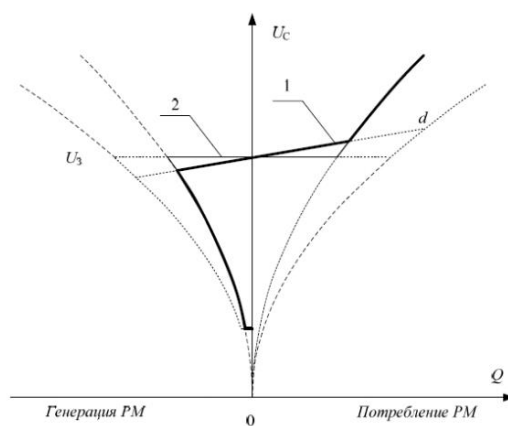


Рисунок 1.2 – Статические характеристики СТК

СТК оказывают положительное влияние на режим электрической сети, т.к. позволяет снизить потери активной мощности за счет разгрузки электрооборудования от перетоков реактивной мощности, тем самым снижая рабочий ток.

## 5. Применение СТАТКОМ

Статический компенсатор реактивной мощности (СТАТКОМ) – управляющее статическое устройство типа FACTS, способствует регулированию напряжения, совершенствует форму кривой, повышает пропускную способность сетей.

СТАТКОМ представляет собой управляемый источник напряжения с внутренним сопротивлением, практически равным нулю. Его подключение к сети производится через линейный реактор, обеспечивающий преобразование разности напряжений сети и источника напряжения в выходной ток.

СТАТКОМ является преобразователем напряжения на управляемых силовых тиристорах или транзисторах, включается в узле сети, к которому подключена линия, параллельно этой линии. Принцип его работы заключается в формировании синусоидального напряжения частотой  $50 \text{ Гц} \pm 3 \text{ Гц}$  из 35 напряжения источника постоянного тока за счет широтно-импульсной модуляции и использования фильтра гармоник. Он способен генерировать ток любой фазы относительно напряжения сети.

СТАТКОМ имеет ряд преимуществ по сравнению с СТК и другими традиционными устройствами компенсации реактивной мощности:

- наиболее близкие к эталону динамические характеристики;
- возможность поддержания номинального емкостного выходного тока при низком напряжении системы, что, в свою очередь, обеспечивает более высокую динамическую устойчивость передачи по сравнению с СТК;
- осуществление активной фильтрации гармонических токов нагрузки, благодаря высокой частоте переключения приборов;
- требует меньше места для установки (приблизительно в два раза по сравнению с СТК);
- лучшей надежностью по сравнению с СК;
- уменьшение активных потерь;
- улучшенными энергетическими характеристиками;



- быстродействие управления выдаваемой или потребляемой реактивной мощностью.

Однако, несмотря на все преимущества, в настоящий момент в России СТАТКОМ применяется только на ПС 330/400 кВ «Выборгская» для повышения надежности работы вставки постоянного тока, предназначенной для экспорта электроэнергии в Финляндию, и на ПС 220 кВ «Могоча» в Забайкальском крае для несинхронной связи энергосистем Сибири и Востока.

Ввиду сложности оборудования и отсутствия широкого рынка сбыта, устройство не имеет повсеместного применения и широкого круга разработчиков, и, соответственно имеет высокую стоимость [9].

#### 6. Обеспечение напряжения посредством отключения нагрузок

Еще одним способом для обеспечения напряжения в узлах энергосистемы является отключения нагрузок с помощью устройств автоматики ограничения снижения напряжения (АОСН). АОСН отключает 36 нагрузку очередями с последующим её автоматическим включением (АПВ после АОСН) при нормализации режима напряжения, что позволяет предотвратить развитие аварийных процессов в начальной стадии.

Внедрение автоматики ограничения снижения напряжения (АОСН), не требующее значительных материальных затрат, делает отключение нагрузки весьма привлекательным способом повышения надежности электроснабжения мегаполисов.

### **1.2. Проблемы ограничения нагрузки на подстанциях распределительной сети при возникновении системных аварий в ЭЭС**

Автоматическое отключение нагрузки – отключение заведомо созданных групп электроприемников от электрической сети при действиях автоматики, с целью предотвращения нарушения устойчивости, лавины напряжения и устранения перегрузки основного электрооборудования станции и сетей.

Устройство отключения нагрузки (УОН) – быстродействующая автоматика, предназначенная отключить потребителей при поступлении управляющих

воздействий от ПА, с целью предотвращения нарушения устойчивости и разделения энергосистемы на несинхронные части. [7]

Отключение нагрузки при помощи специальной автоматики отключения нагрузки (САОН) в целях предотвращения нарушения устойчивости наносит ущерб потребителям энергосистемы, поэтому должно использоваться только в тех случаях, когда другие управляющие воздействия недостаточны или неэффективны, а действие САОН позволяет предотвратить нарушения, приводящие к еще большему экономическому ущербу [10].

Согласно [11] в случае возникновения (угрозы возникновения) аварийных электроэнергетических режимов по причине возникновения (угрозы возникновения) дефицита электрической энергии и мощности и (или) недопустимых отклонений напряжения, перегрузки электротехнического оборудования и в иных чрезвычайных ситуациях допускается ограничение режима потребления, в том числе без согласования с потребителем при необходимости принятия неотложных мер (аварийное ограничение). Аварийное ограничение вводится при условии невозможности предотвращения указанных обстоятельств путем использования технологических резервов мощности.

Аварийные ограничения осуществляются в соответствии с графиками аварийного ограничения режима потребления электрической энергии (мощности) (графики аварийного ограничения (ГАО)), а также посредством действия аппаратуры противоаварийной автоматики.

Ответственность потребителей за реализацию графиков аварийного ограничения определяется условиями договора оказания услуг по передаче электрической энергии либо договора энергоснабжения (купли-продажи (поставки) электрической энергии (мощности)).

Графики аварийного ограничения разрабатываются сетевой организацией на основании требований к объемам, времени и местам ввода аварийного ограничения, определенных системным оператором (субъектом оперативно-диспетчерского управления в технологически изолированной территориальной электроэнергетической системе), в порядке, устанавливаемом правилами

разработки и применения ГАО режима потребления электрической энергии (мощности) и использования противоаварийной автоматики, утверждаемыми федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики в сфере топливно-энергетического комплекса.

В случае если это предусмотрено требованиями субъекта оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, сетевая организация разрабатывает ГАО с разбивкой по отдельным энергоузлам (энергорайонам) в пределах территории соответствующего субъекта Российской Федерации.

В графики ограничения режима потребления могут быть включены энергопринимающие устройства потребителей любой категории.

В графики временного отключения потребления могут быть включены энергопринимающие устройства потребителей любой категории, за исключением электроприемников аварийной брони электроснабжения потребителей, имеющих акты согласования аварийной брони, а также электроприемников аварийной брони тех потребителей, которые отнесены к категориям потребителей, ограничение режима потребления электрической энергии которых может привести к экономическим, экологическим, социальным последствиям.

Электроприемники аварийной брони электроснабжения должны быть выделены потребителем или сетевой организацией за счет потребителя на отдельные питающие линии, по которым подача электрической энергии (мощности) не подлежит временному отключению.

### **Выводы по главе 1**

При возникновении дефицита активной генерируемой мощности в ЭЭС происходит снижение частоты электрического тока – общесистемного режимного параметра, характеризующего надежность и экономичность работы энергосистемы, а также качество электроэнергии.

К способам поддержания частоты в ЭЭС относятся:

- автоматический частотный ввод резерва, используемый в первую очередь и ограниченный величиной резервов активной мощности электростанций;
- автоматическая частотная разгрузка (АЧР), самый популярный способ ограничения снижения частоты и поднятия ее до допустимого уровня отключением электроустановок потребителей;
- дополнительная разгрузка (ДАР), применяемая при значительных и быстроразвивающихся снижениях частоты;
- включение питания отключенных потребителей при восстановлении частоты (ЧАПВ), которая помогает сократить время перерыва электроснабжения потребителей, отключенных действием АЧР;
- выделение электростанций или генераторов со сбалансированной нагрузкой и выделение генераторов на питание собственных нужд электростанций, осуществляемое при неэффективности других автоматик и предотвращающее дальнейшее развитие аварии.

При возникновении аварийных ситуаций в ЭЭС возможно значительное снижение напряжения на подстанциях распределительной сети, которое может привести к обесточиванию потребителей, нарушению работы станций, лавине напряжения. Способы ограничения снижения напряжения включают в себя такие воздействия, как отключение реакторов, включение конденсаторов (БСК), СТАТКОМ, форсировка и увеличение уставок возбуждения синхронных компенсаторов, генераторов электростанций, деление сети, отключение нагрузки, реализуемые в озвученном порядке.

Проблемы ограничения нагрузки на подстанциях распределительной сети при системных авариях в ЭЭС связаны с обеспечением необходимого запаса в объеме отключений и предотвращением излишнего отключения, которое не только вызывает увеличение ущерба, но в некоторых случаях может привести к опасному нарушению баланса мощности.

## **Глава 2. Существующие способы и средства поддержания режимных параметров ЭЭС на подстанциях распределительной сети**

Существующие средства обеспечения напряжения, устанавливаемые на подстанциях распределительной сети

1. Шкаф автоматического ограничения снижения частоты и напряжения ШЭРА-РЧН-1001 производства ЗАО «РАДИУС Автоматика»

Комплект автоматической разгрузки по частоте и напряжению выполнен на основе терминала «Сириус-2-РЧН».

Помимо выполнения функции автоматической частотной разгрузки, устройство предназначено для ликвидации дефицита реактивной мощности путем отключения потребителей при снижении напряжения (АОСН) с последующим автоматическим повторным включением отключенных потребителей при восстановлении напряжения (АПВН).

При этом возможен вариант как отдельного режима использования устройства, так и комбинации АЧР и АОСН.

То есть на одну группу присоединений можно назначать разгрузку только по частоте, а на другую – только по напряжению. Также возможно на любую группу присоединений назначать разгрузку как по частоте, так и по напряжению одновременно.

Функции автоматики, выполняемые устройством (4 независимых очереди) по восстановлению напряжения:

- автоматическое ограничение снижения напряжения (АОСН)
  - а) – пусковой орган по диапазону напряжения;
  - б) блокировка при повреждении ТН
- автоматическое повторное включение по напряжению (АПВН)
  - а) блокировка при повреждении ТН;
  - б) блокировка повторного действия
- процесс разгрузки очереди
  - а) АОСН без АЧР;

b) АЧР и АОСН

- процесс автоматического повторного включения (АПВ)

a) АПВН без ЧАПВ;

b) ЧАПВ и АПВН;

c) возможность ручного пуска;

d) 32 ступени [12].

## 2. ТПА-01 производства ООО «Прософт-Системы»

Предназначен для контроля режимов работы электроэнергетической системы и управления компонентами электрической сети согласно заданным алгоритмам работы. Область применения ТПА-01: системы защиты, автоматики, измерения и управления подстанций 110 / 35 / 10 кВ.

Терминал противоаварийной автоматики ТПА-01 применяется в качестве микропроцессорного устройства противоаварийной автоматики (ПА) для подстанций 6/ 35 / 110 кВ. Терминалом ТПА-01 могут быть реализованы одновременно несколько функций ПА (АЧР, ЧАПВ, АОСН, НАПВ, АЧРС и другие) при наличии достаточного количества аналоговых входов, дискретных входов / выходов.

Пример схемы реализации функции АЧР / АОСН на двух секциях шин класса напряжения 10 кВ в составе понижающей подстанции 110 / 10 кВ показан на рисунке 3.

Устройство ТПА-01 в составе шкафа АЧР / АОСН контролирует трехфазное напряжение ( $U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$ ) на шинах 110 кВ и в случае снижения значения напряжения или частоты на шинах до уставок срабатывания выдает УВ на отключение потребителей (выключателей В11... В14). При необходимости терминал ТПА-01 выдает УВ на повторное включение отключенного оборудования (АПВ).

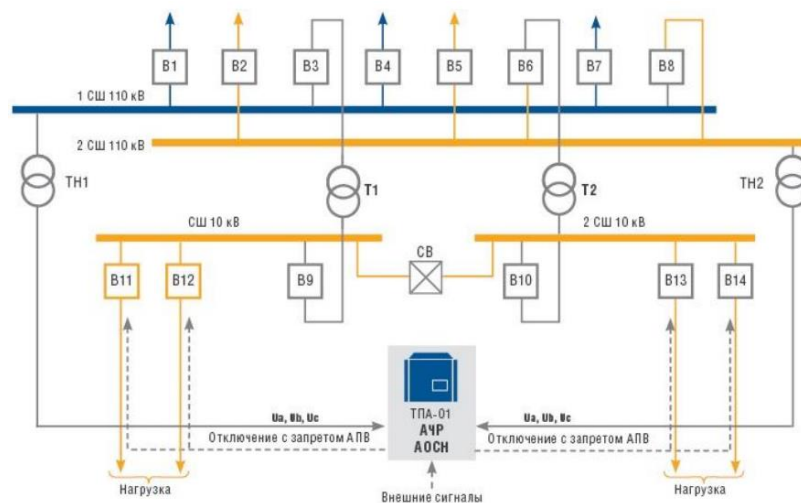


Рисунок 2.1 – Пример реализации функций АЧР, АОСН с использованием ТПА-01

Основные функции:

- автоматическая частотная разгрузка (АЧР);
- автоматическая разгрузка по скорости снижения частоты (АЧРС);
- частотное автоматическое повторное включение (ЧАПВ);
- автоматическое ограничение снижения напряжения (АОСН);
- автоматическое повторное включение (НАПВ);
- блокировка по скорости снижения частоты  $df/dt$  (защита от выбега двигателей) [14].

### 2.3. Существующие средства автоматики, осуществляющие отключение нагрузки на подстанциях распределительной сети

1. Микропроцессорное устройство специальной автоматики отключения нагрузки (САОН) типа РИТМ производства ОАО "Всероссийский научноисследовательский институт релестроения с опытным производством"

Устройство предназначено для выполнения функций противоаварийной автоматики и сигнализации на объектах энергетики различного класса напряжений.

Устройство предназначено для применения в схемах вторичной коммутации на подстанциях с переменным, выпрямленным переменным или постоянным оперативным током с выполнением необходимых функций

противоаварийной автоматики на объектах энергетики и соответствует требованиям технических условий.

Устройство предназначено для установки в камерах сборных одностороннего обслуживания (КСО), комплектных распределительных устройствах (КРУ), в том числе наружной установки (КРУН), комплектных трансформаторных подстанциях собственных нужд (КТП СН) электрических станций и подстанций, а также на панелях, в шкафах управления, расположенных в релейных залах и пультах управления. Технические характеристики устройства делают возможным его применение на реконструируемых объектах небольших ПС промышленных предприятий и сетей с установкой в камерах КСО или КРУН с жесткими температурными условиями эксплуатации.

По принципу действия устройство представляет собой программируемый логический контроллер, ядром которого является блок центрального процессора. Конструктивно блок центрального процессора выполнен на микропроцессорной элементной базе.

Специальная автоматика отключения нагрузки (САОН) предназначена для приема команд управления от устройств противоаварийной автоматики (АОПО, АОСН, АЧР и т.д.) и формирования выходными реле команд управления оборудованием на энергообъекте, отключения / включения присоединений и т.д.

В устройстве может быть выполнено до 5 очередей САОН1 – САОН5, каждая из которых выполняется с индивидуальной уставкой выдержки времени срабатывания и может быть независимо введена или выведена пользователем. Действие очередей САОН1 – САОН5 запускается командами на дискретные входы Двх1 (Х6:1, Х6:2) – Двх5 (Х6:9, Х6:10) соответственно. После поступления команды на соответствующий дискретный вход очередь САОН с заданной выдержкой времени формирует команды на выходные реле, выбранные при задании параметров устройства. Для САОН2 – САОН5 49 уставкой может быть введено срабатывание одновременно с ней всех нижестоящих по счету очередей. Например, в случае срабатывания САОН3 одновременно с ней будут срабатывать САОН1 и САОН2, при этом срабатывания САОН4 и САОН5 не будет.



Автоматическое включение потребителей (АВП) предназначено для автоматического восстановления питания отключенных от действия САОН потребителей после ликвидации аварийного режима. Первыми должны включаться наиболее ответственные потребители, которые отключались от действия ПА последними.

Задается последовательность включения потребителей, что исключает возможность одновременного включения двух потребителей на одном объекте или нескольких потребителей на разных объектах. Это позволяет исключить возможность повторного возникновения аварийного режима и срабатывания устройств ПА [15].

2. Шкаф противоаварийной автоматики с функцией специальной автоматики отключения нагрузки (САОН) ШЭЭ 22Х 0631ООО НПП «ЭКРА»

САОН действует при аварийном режиме работы систем электроснабжения и осуществляет временное отключение части нагрузки потребителей электрической энергии в целях предотвращения разделения энергосистемы или отдельных ее частей.

Аппаратура комплекса осуществляет управление выключателями присоединений.

Особенности:

- 13 входов для приема команд от УПАСК;
- 29 выходов для реализации управляющих воздействий;
- блокировка по дискретному входу;
- конфигурируемая логика;
- изменяемая матрица управляющих воздействий.

Возможные исполнения:

ШЭЭ 221 0631, ШЭЭ 223 0631 – однотерминальные шкафы; ШЭЭ 224 0631 – двухтерминальные шкафы, независимая работа терминалов и отдельные цепи обеспечивают 100% дублирование комплектов [16].

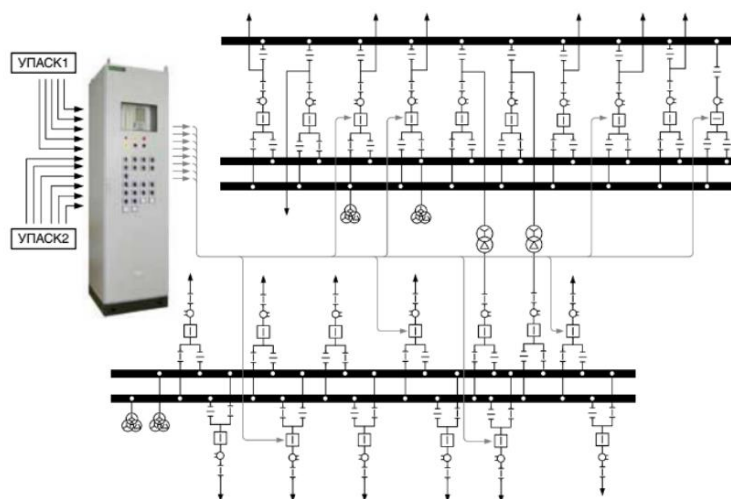


Рисунок 2.2 – Структурная схема устройства САОН, работающего с УПАСК

### 3. Комплекс специальной автоматики отключения нагрузки (САОН) производства ООО «Прософт-Системы»

Рассчитан для поддержания устойчивости узла нагрузки при аварийных ситуациях, таких как отключение одной или нескольких питающих линий. Также комплекс САОН предназначен для ликвидации перегрузки связей узла с внешней энергосистемой. САОН действует на узел нагрузки путём селективного отключения потребителей.

При построении комплекса САОН требуется организация распределенной структуры контроллеров противоаварийной автоматики во главе с устройством противоаварийной автоматики энергоузла (УПАЭ). Устройства локальной автоматики, например МКПА-2, в комплексе САОН служат для реализации команд вида «отключение нагрузки» (ОН) и «включение нагрузки» (ВН), поступающих от УПАЭ, а также для формирования сигналов состояния элементов сети (ремонт / введено) и вычисления суммарной нагрузки подстанций. Быстродействующие сигналы ОН выдаются в МКПА-2 посредством сети УПАСК (АВАНТ К400), а небыстродействующие сигналы ВН по команде персонала, телесигнализации и телеизмерений между устройствами передаются посредством сети Ethernet по протоколу МЭК 60870- 5-104.

По каждой ПС в конфигурации УПАЭ может быть предусмотрен отдельный суточный график нагрузки, т. к. величина базовой нагрузки у каждой ПС своя. В

суточном графике нагрузки для каждой ПС задаются месячные коэффициенты и почасовые коэффициенты. Это позволяет более гибко управлять нагрузкой при сохранении устойчивости узла. За счёт гибкого программирования устройств ПА есть возможность использовать УПАЭ, в том числе как часть системы АПНУ, предназначенной для сохранения устойчивости внешней энергосистемы, реализуя отключение элементов ОРУ ТЭЦ при аварийных возмущениях во внешней энергосистеме.

Устройства МКПА-2 при отсутствии пусковых команд от УПАЭ могут на своём уровне реализовать функции локальной автоматики, такие как АОСЧ, АОСН и прочие [17].

#### 2.4. Выводы по главе 2

На современном рынке изделий противоаварийной автоматики представлено большое количество микропроцессорных устройств, служащих для отключения нагрузки потребителей с целью поддержания режимных параметров на допустимом уровне и предотвращения развития аварий.

Все устройства измеряют значения напряжения, тока и частоты в месте установки, однако текущее значение мощности нагрузки не контролируется. Ступени отключения нагрузки определены заранее и имеют постоянные величины, точное определение объема разгрузки (отключения нагрузки) контролируемого энергорайона не осуществляется.

## Глава 3. Разработка общих требований к интеллектуальному устройству отключения нагрузки (ИУОН)

### 3.1 Формулирование общих принципов построения интеллектуального устройства отключения нагрузки (ИУОН)

В наши дни под интеллектуальным устройством (ИУ) понимают устройства, способные получать и передавать данные или управляющие воздействия от внешних источников или на внешний источник. Также ИУ обладают функциями обработки и хранения информации, что позволяет им работать в какой-то степени автономно. Блок-схема такого устройства изображена на рисунке 5.

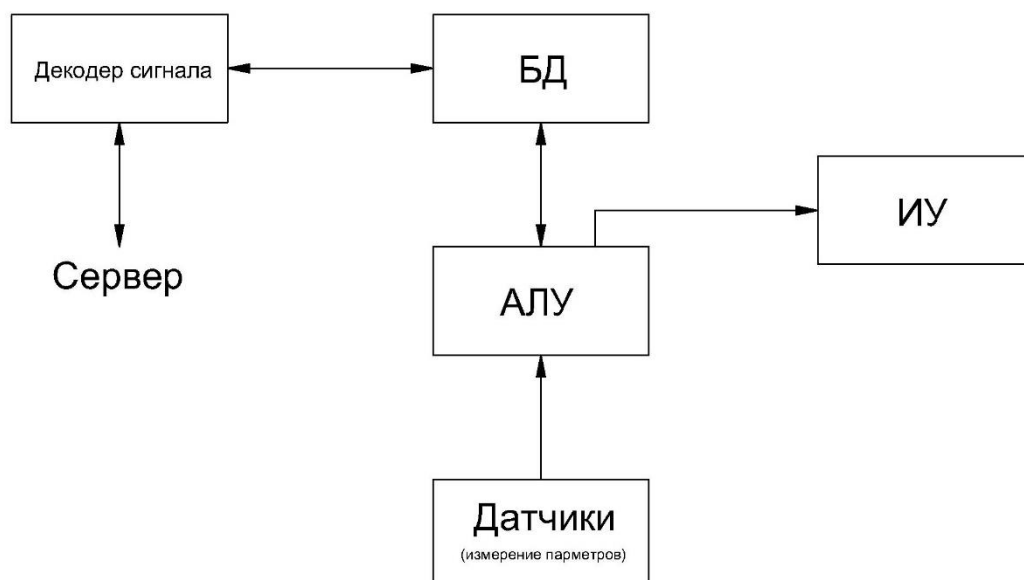


Рисунок 3.1.1– Блок-схема интеллектуального устройства

,где ИУ– исполнительное устройство, АЛУ – арифметико-логическое устройство, БД – база данных, декодер– преобразователь сигнала в определенный интерфейс пакетной передачи данных(ethernet, 3G и т.д.), Сервер – внешнее устройство индикации и управления ИУ.

Согласно требованиям [7] система противоаварийной автоматики (СПА) должна обеспечивать:

- сведение к возможному минимуму отключений нагрузки в аварийных режимах;
- предотвращение развития и локализацию нарушений в послеаварийном режиме энергосистемы.

ПА находится во взаимодействии с другими устройствами релейной защиты и автоматики, автоматическим регулированием возбуждения синхронных машин, автоматическим регулированием частоты и перетоков активной мощности, средствами управления нормальными режимами и диспетчерским управлением, поэтому необходимо согласовывать действия устройств между собой для достижения максимальной эффективности.

ПА энергосистем должна обеспечивать эффективность действия, использование минимальных управляющих воздействий (УВ) и их безопасность, чувствительность и селективность.

Вновь вводимые устройства ПА на энергообъектах ЕЭС России должны интегрироваться в существующие системы ПА и проектироваться с учётом возможности модернизации всей системы противоаварийной автоматики энергообъединения.

В существующих системах отключения нагрузки, эксплуатируемых в энергосистемах, отключаемые потребители жестко распределены по ступеням. Это приводит к тому, что при изменении мощности нагрузки различных потребителей меняется реальный объем ступени отключения нагрузки. Иногда объем одной и той же ступени в разное время может отличаться в несколько раз. При этом за расчетный объем ступени, как правило, принимается минимальное возможное значение. Как следствие, срабатывание устройств противоаварийной автоматики с действием на отключение нагрузки приводит к отключению нагрузки в большем, чем требуется в реальных условиях, объеме.

Таким образом, недостатками существующих устройств аварийной разгрузки энергоузла являются:

1) отсутствие возможности подстраиваться к изменениям основных режимных параметров (напряжения);

2) неучёт предыдущего режима работы системы и текущего значения мощности отключаемых нагрузок, что может привести избыточному либо недостаточному воздействию противоаварийной автоматики;

3) низкий уровень избирательной способности.

Разрабатываемое устройство противоаварийной автоматики, осуществляющее разгрузку энергоузла при снижении основных режимных параметров ЭЭС, должно отвечать следующим требованиям:

- в нем должна быть реализована адаптивность – способность подстраиваться к изменениям нагрузок, частоты и напряжения, то есть устройство должно производить расчет нового значения отключаемой мощности при каждом изменении нагрузок или режимных параметров;

- устройство должно обладать избирательной способностью, которая дала бы возможность оптимального подбора отключаемых нагрузок с учетом категории надежности электроснабжения, что помогло бы уменьшить ущерб от недоотпуска электроэнергии потребителям;

- устройство должно иметь возможность измерять режимные параметры ЭЭС в аналоговом и цифровом форматах.

- устройство должно обладать необходимыми интерфейсами для обмена данными, по каналам Ethernet и др. с устройствами ПА верхнего уровня;

- устройство должно обеспечивать дозированное (в соответствии с заданным объемом воздействия) отключение нагрузки, исключая излишние объемы отключенных присоединений и минимизируя наносимый потребителю при действии устройств ПА ущерб;

- устройство должно быть выполнено по комбинированному принципу и совмещать в себе функции АОСН, УОН.

Соответствие требованиям достигается путем автоматического контроля отключаемой мощности, что обеспечивает строгую последовательность

отключения потребителей в соответствии со степенью их ответственности и реальной нагрузкой, а также высокое быстродействие срабатывания.

В ИУОН необходимо предусмотреть блокировку работы органов по напряжению на некоторое время по факту выявления короткого замыкания, так как при коротких замыканиях из-за снижения напряжения в контролируемом узле может произойти ложное срабатывание автоматики.

### **3.2 Повышение эффективности функции автоматики ограничения снижения напряжения ИУОН**

Как правило, АОСН следует выполнять с пуском по напряжению ступенями с разными выдержками времени.

Выдержки времени должны обеспечивать отстройку автоматики от АПВ, АВР и т.д., и сводить к минимуму вероятность неправильного срабатывания устройств при полной потере напряжения вследствие неуспешных АПВ, отключений линий электропередачи распределительной сети и т.д.

Для повышения эффективности и быстродействия АОСН рекомендуется учитывать скорость изменения напряжения.

Устройство автоматического ограничения снижения напряжения должно обеспечивать:

- пофазную фиксацию снижения напряжения с учетом его длительности от двух ТН;
- блокировку срабатывания при неисправностях в цепях напряжения, а также по сигналам от внешних устройств;
- автоматическое повторное включение потребителей (линий) после восстановления напряжения до значений от  $0,8$  до  $1U_{ном}$  (с шагом  $0,01U_{ном}$ ) с выдержками времени от  $0$  до  $60$  с (с шагом  $1$  с).

Устройство АОСН должно иметь не менее 3-х ступеней с индивидуальными выдержками времени от  $0$  до  $60$  с (с шагом  $1$  с) и уставками по напряжению от  $0,7$  до  $0,95U_{ном}$  (с шагом  $0,01U_{ном}$ ).

В устройстве АОСН должно быть предусмотрено:

- дискретных входов – не менее 2;
- дискретных выходов (УВ) – не менее 9;
- аналоговых входов любого вида – не менее 8;
- дискретных выходов сигнализации – не менее 2 [22].

Разрабатываемый алгоритм АОСН в составе устройства ИУОН действует на отключение нагрузки потребителей электрической энергии (ЭЭ) при снижении напряжения на шинах потребителей ниже уставки срабатывания.

При этом объем отключения, необходимый для повышения напряжения, вычисляется на основе разности постоянно измеряемых параметров – тока и напряжения на шинах потребителей ЭЭ – до и после возникновения аварийной ситуации в ЭЭС. Непрерывное измерение позволяет точно определить необходимую величину ограничения мощности нагрузки, которое подлежит распределению между присоединениями.

Распределение заключается в сравнении вычисленной величины со всеми мощностями присоединений нагрузки и их комбинаций и нахождении наиболее близкого к равенству. Выбранное таким образом присоединение нагрузки подлежит отключению, давая возможность максимально исключить обесточивание излишнего объема потребителей.

В устройстве предусмотрено автоматическое повторное включение потребителей после восстановления напряжения.

### **Выводы по главе 3**

Разрабатываемое устройство противоаварийной автоматики должно быть выполнено по комбинированному принципу и совмещать в себе функции автоматического ограничения снижения частоты (АОСН), устройства отключения нагрузки по факту приема внешнего сигнала (УОН). Устройство должно осуществлять разгрузку энергоузла при снижении основных режимных параметров ЭЭС и отвечать следующим требованиям:

- в нем должна быть реализована адаптивность – способность подстраиваться к изменениям нагрузок и напряжения, то есть устройство должно



производить расчет нового значения отключаемой мощности при каждом изменении нагрузок или режимных параметров;

- устройство должно обладать избирательной способностью, которая дала бы возможность оптимального подбора отключаемых нагрузок с учетом категории надежности электроснабжения, что помогло бы уменьшить ущерб от недоотпуска электроэнергии потребителям.

Предлагаемая к реализации адаптивная автоматика должна обеспечивать дозированное (в соответствии с заданным объемом воздействия) отключение нагрузки, исключая излишние объемы отключенных присоединений и минимизируя наносимый потребителю при действии устройств ПА ущерб.

## Глава 4. Формулирование общих конструктивных решений по разработке ИУОН

### 4.1. Разработка алгоритма работы ИУОН

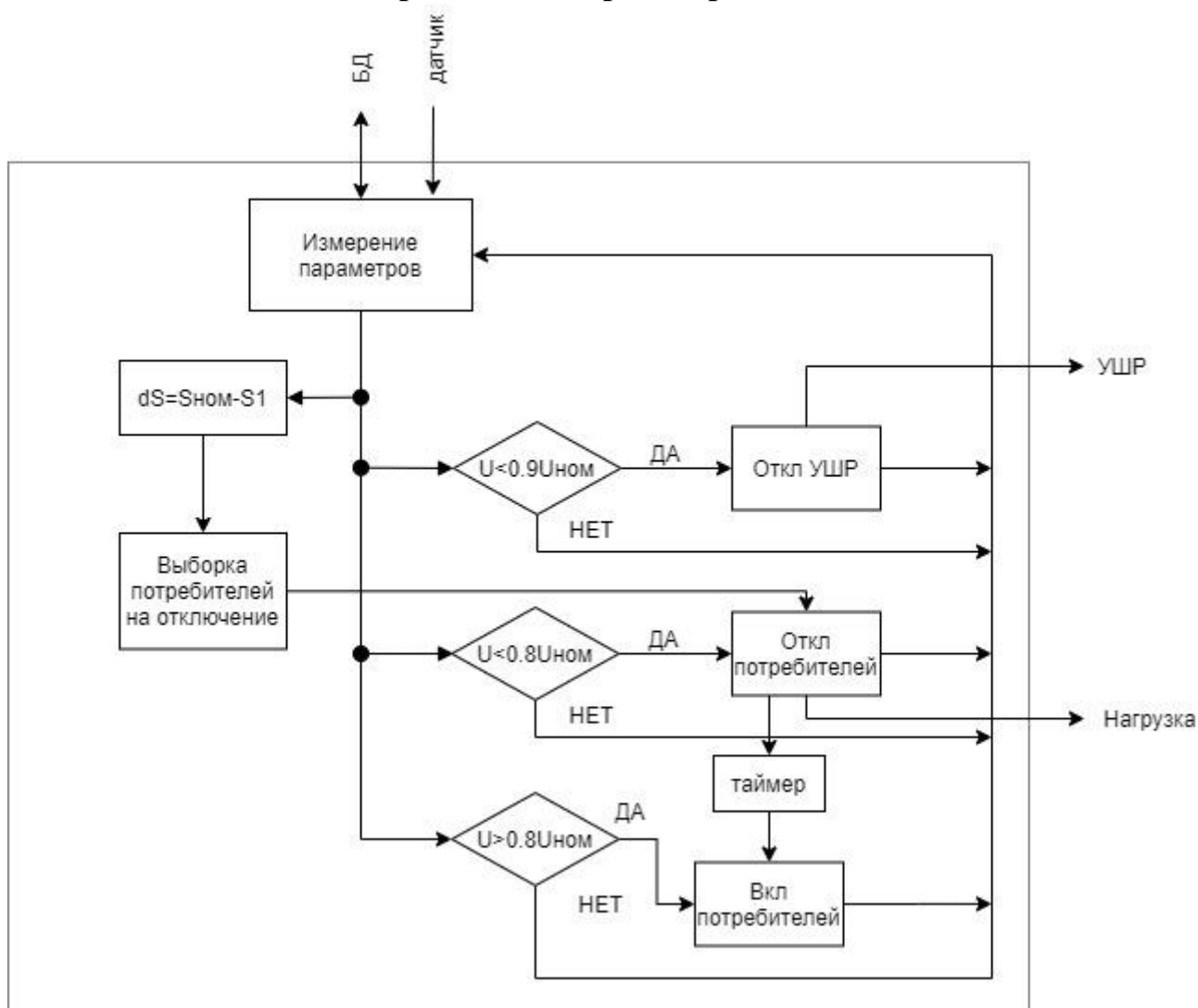


Рисунок 4.1.1 – Алгоритм работы АЛУ ИУ.

При любом напряжении данное устройство считает дефицитную мощность и выполняет выборку потребителей на отключение с учетом их текущих показаний.

При снижении напряжения  $U < 0.9 U_{ном}$  отключается УШР. Далее если напряжение падает ниже  $0.8 U_{ном}$ , то отключаются ранее выбранные потребители.

Если после отключения потребителей напряжение восстановилось выше  $0.9 U_{ном}$ , то выполняются действия на включение ранее отключенных потребителей.

При восстановлении напряжения более  $0.8 U_{ном}$  после отключения потребителей, формируется команда на поочередное включение потребителей. Алгоритм представлен на рисунке 6.

## 4.2 Моделирование энергоузла

Исходя из методических указаний по устойчивости лавина напряжений происходит при снижении напряжения ниже 70%, т. е. до этого момента разрабатываемое устройство должно выполнить управляющие воздействия. А предельно-минимальное значение при аварийном режиме 80%. Исходя из этих данных наше устройство должно осуществлять отключение потребителей при напряжении ниже 80%. Для релейной защиты используют приборы с погрешностью 3% и 6%. Если учесть погрешность измерений напряжение уставки составит 84,5%  $U_{ном}$ . Контроль напряжения АОСН осуществляется со стороны ВН.

Принципиальная блок-схема взаимодействия электрооборудования и ИУОН приведена на рисунке 4.2.1.

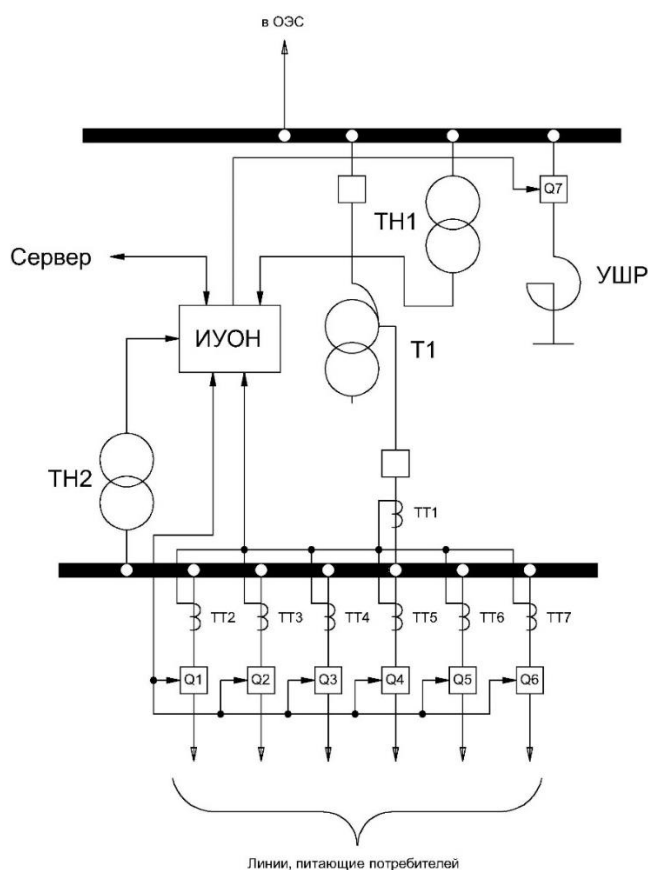


Рисунок 4.2.1 – Принципиальная блок-схема устройства.

Составим математическую модель для данного энергоузла в среде MatLab Simulink. MatLab Simulink – динамическая среда моделирования сложных технических систем с графическим макетированием.

За номинальное напряжение ВН примем 220кВ, а НН 110кВ.

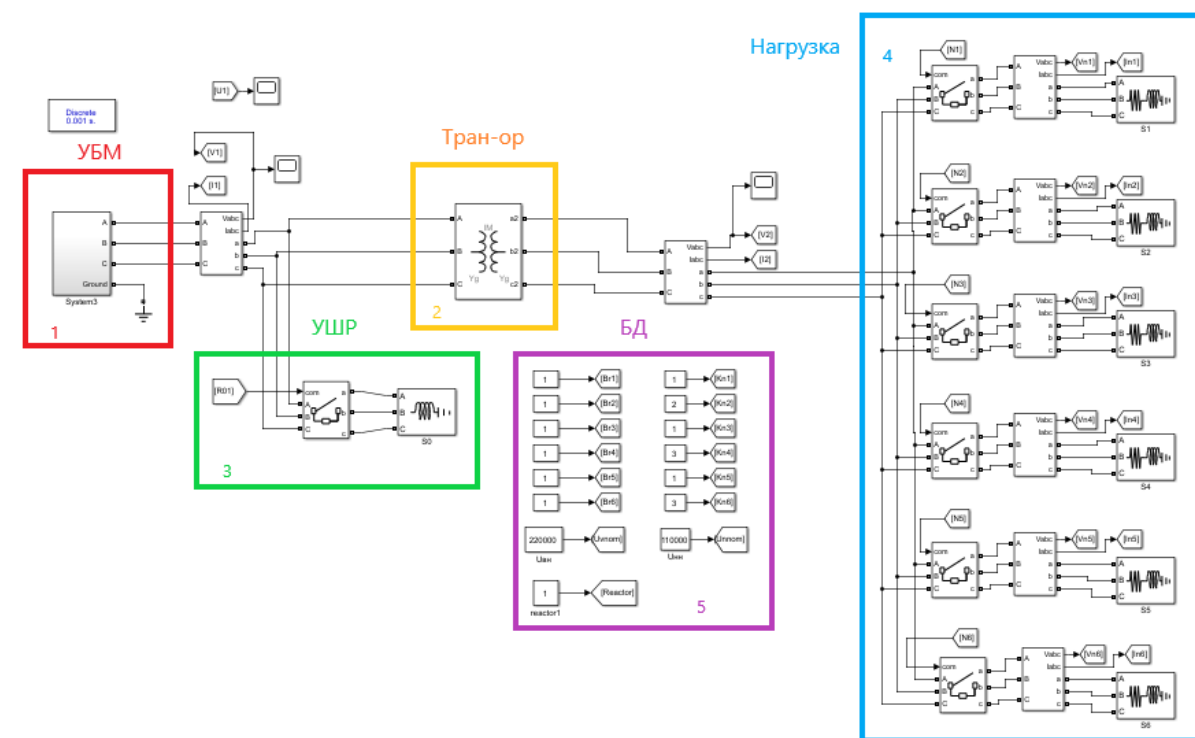


Рисунок 4.2.2 – Математическая модель энергоузла

Рассмотрим подробно данную модель:

**Блок № 1 рисунок 4.2.2 – Узел бесконечной мощности (УБМ)**

УБМ состоит из Controlled Voltage Source, Signal Builder2 и Three-Phase Mutual Inductance, т.к. она должна иметь возможность в процессе генерации режима менять свое напряжение.

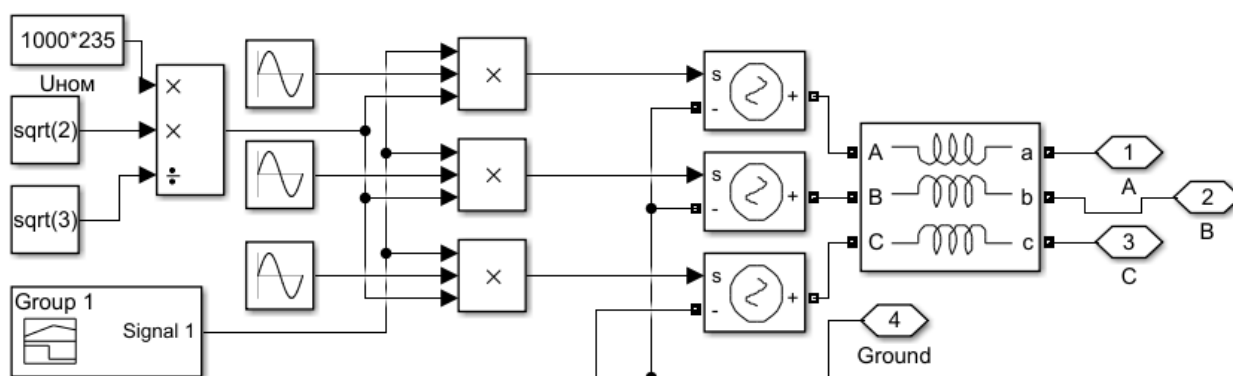


Рисунок 4.2.3 – модель УБМ

В Signal Builder2 задаются параметры кривой, по которой должна меняться амплитуда Controlled Voltage Source, а Three-Phase Mutual Inductance моделирует

сопротивление системы. Уном в этом блоке задается таким образом, чтобы получить на выходе чуть больше  $0.9 \cdot 220$  кВ.

Определение параметров системы (Three-Phase Mutual Inductance):

- Ток трансформатора

$$I_{\text{тр}} = \frac{S_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{тр}}} = \frac{250e6}{\sqrt{3} \cdot 230e3} = 627,6 \text{ A}$$

- Индуктивное сопротивление энергосистемы:

$$U_6 = U_{\text{ном}}$$

$$X_{\text{эс}} = \frac{U_6^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{тр}} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{220e3}{\sqrt{3} \cdot 627,6} = 202,4 \text{ Ом}$$

$$L_{\text{эс}} = \frac{X_{\text{эс}}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{202,4}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,64426 \text{ Ом}$$

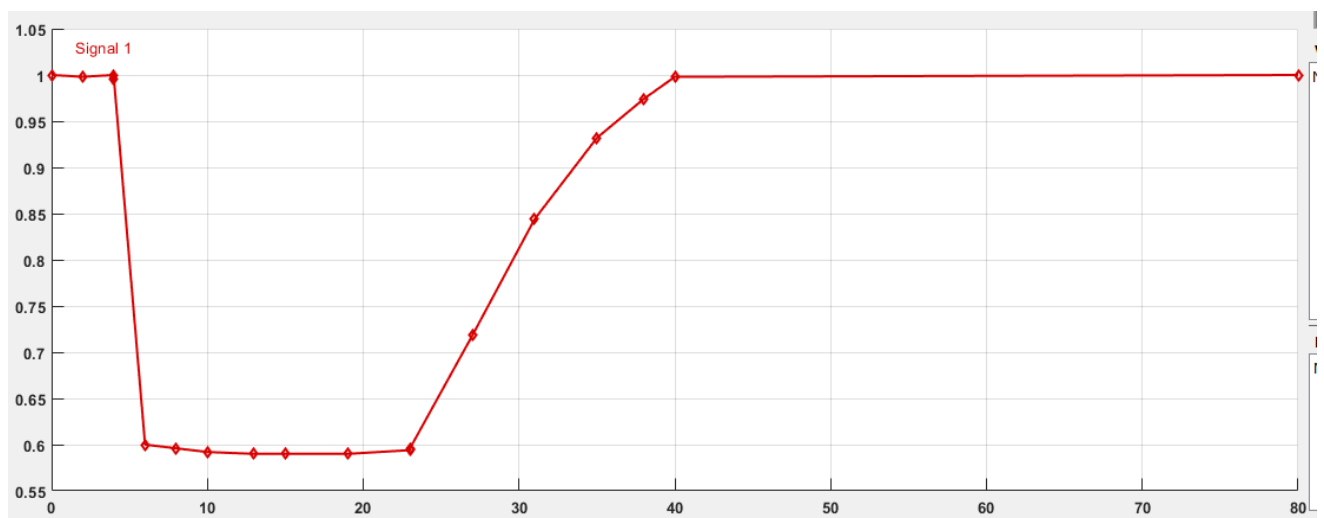


Рисунок 4.2.4 – параметры Signal Builder2

## Блок №2 рисунок 4.2.2– Трансформатор

Для данной модели взят автотрансформатор АТДЦТН– 250000 / 220 /110, причем, для упрощения расчетов взят всего 1 трансформатор.

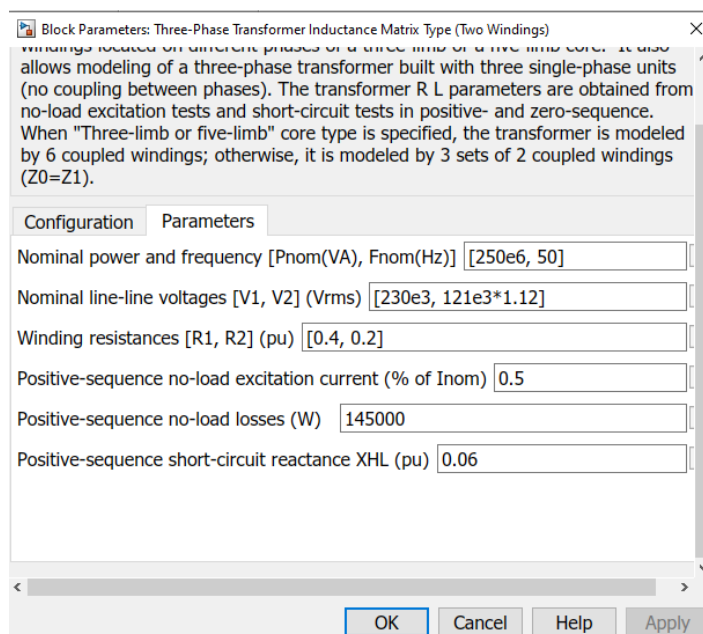


Рисунок 4.2.5– параметры трансформатора в модели

### Блок №3 рисунок 4.2.2 – УШР

Учет УШР в расчете довольно условный, т.к. при отключении УШР большой мощности, напряжение в сети сильно повыситься что скажется на отключаемой нагрузке. В следствии чего было принято решение, принять УШР с очень малой нагрузкой. Параметры УШР приведены на рисунке.

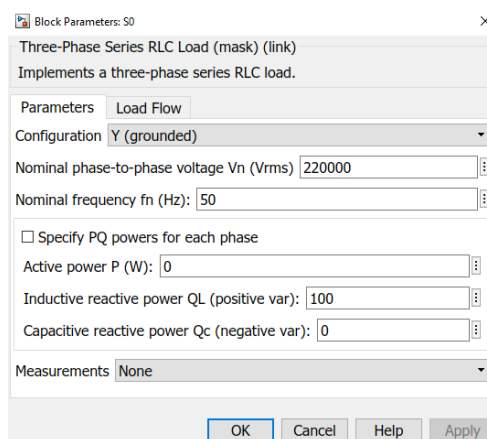


Рисунок 4.2.6 – параметры УШР

### Блок №4 рисунок 4.2.2 – Устройство отключения нагрузки

Данный блок состоит из 6 нагрузок подключенные к шинам НН через управляемый выключатель.

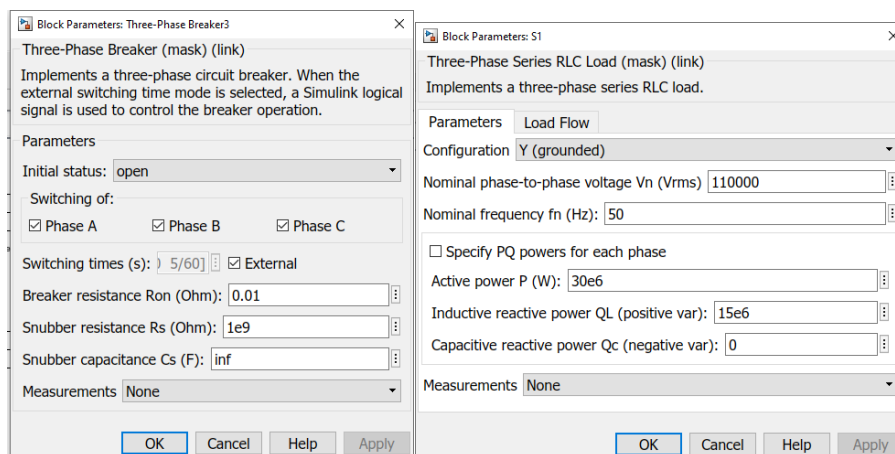


Рисунок 4.2.7 – параметры нагрузки и выключателя

Блок №5 рисунок 4.2.2 – База данных (БД).

Довольно условный блок, в нем хранятся данные о потребителях: напряжение( $V_2$ ), ток( $I_n$ ), надежность( $K_n$ ), исходные положение выключателей( $B_r$ ) и после срабатывания автоматики( $N$ ); данные на вводах: напряжение  $BH(V_1)$ , ток  $BH(I_1)$ , ток  $HH(I_2)$ ; и положение выключателей компенсирующих устройств, в данном случае это УШР(Reactor).

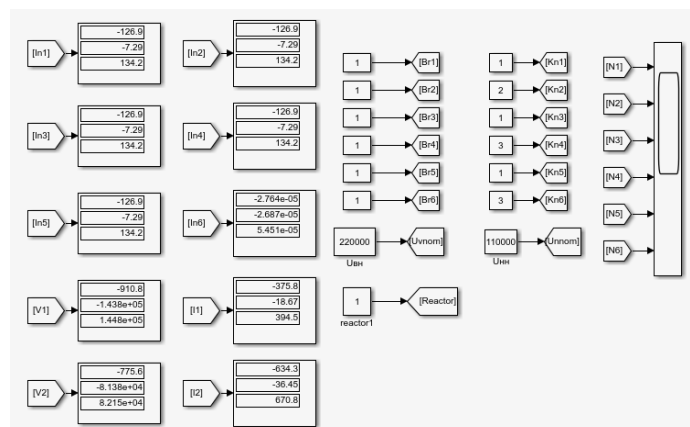


Рисунок 4.2.8 – данные в БД

### 4.3 Моделирование автоматики ИУОН

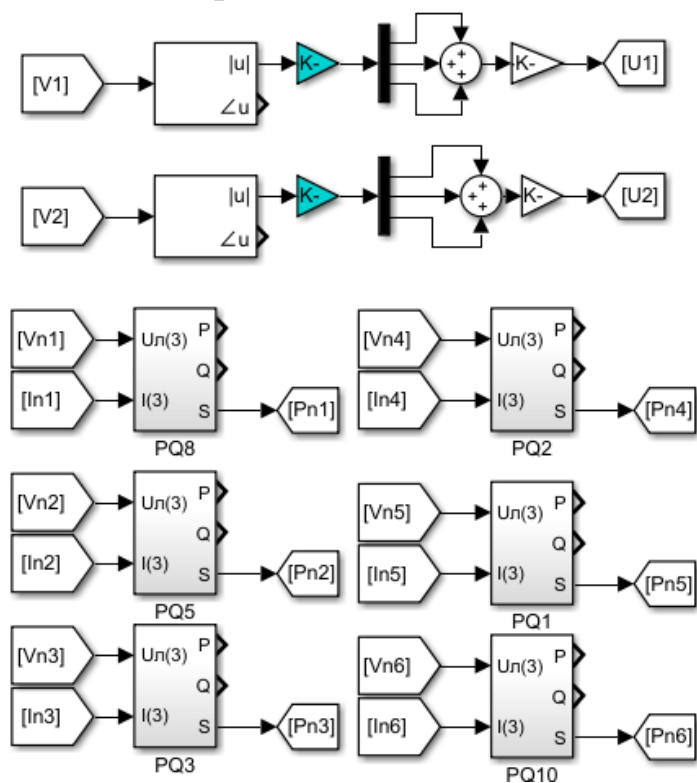


Рисунок 4.3.1 – определение перетока мощности

В данной автоматике должны быть реализованы:

- 1) Отключение УШР;
- 2) Отключение нагрузки;
- 3) Включение нагрузки.

#### Отключение УШР

Отключение УШР происходит при снижении напряжения ниже  $0.9U_{\text{ВН}}$ .

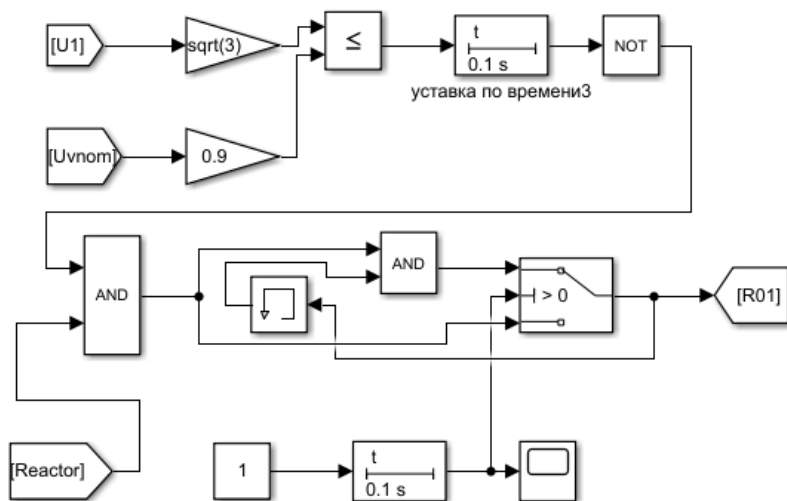


Рисунок 4.3.2 – управление выключателем на УШР



При снижении напряжения ниже  $0.9U_{ВН}$  включается таймер(0.1сек), время уставки выбиралось из расчета времени срабатывания выключателя и задержки учитывающей ложные просадки напряжения. Далее блок AND производит умножение сигнала: если  $U > 0.9U_{Н} \rightarrow 1 * \text{Reactor} = \text{Reactor}$ , если  $U < 0.9U_{Н} \rightarrow 0 * \text{Reactor} = 0$ .

### Отключение нагрузки

Для того чтобы отключить нагрузки нам необходимо определить дефицит мощности.

$$S_p = (0,8 \cdot U_{\text{НН ном}} - U_{\text{НН}}) I_{\text{НН}}$$

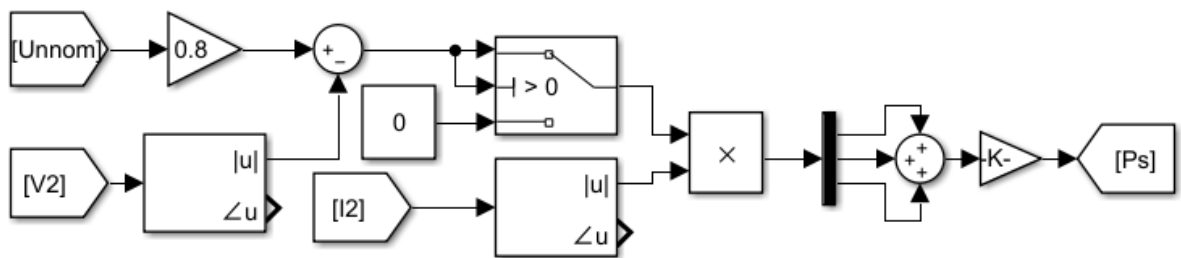


Рисунок 4.3.3 – Определение дефицита мощности

,где V2- напряжения на шинах НН, Unnom– линейное напряжение на шинах НН, I2–ток низкой стороне трансформатора, Ps– дефицит мощности.

Далее выбираем потребителей на отключение, рисунок 4.3.4.

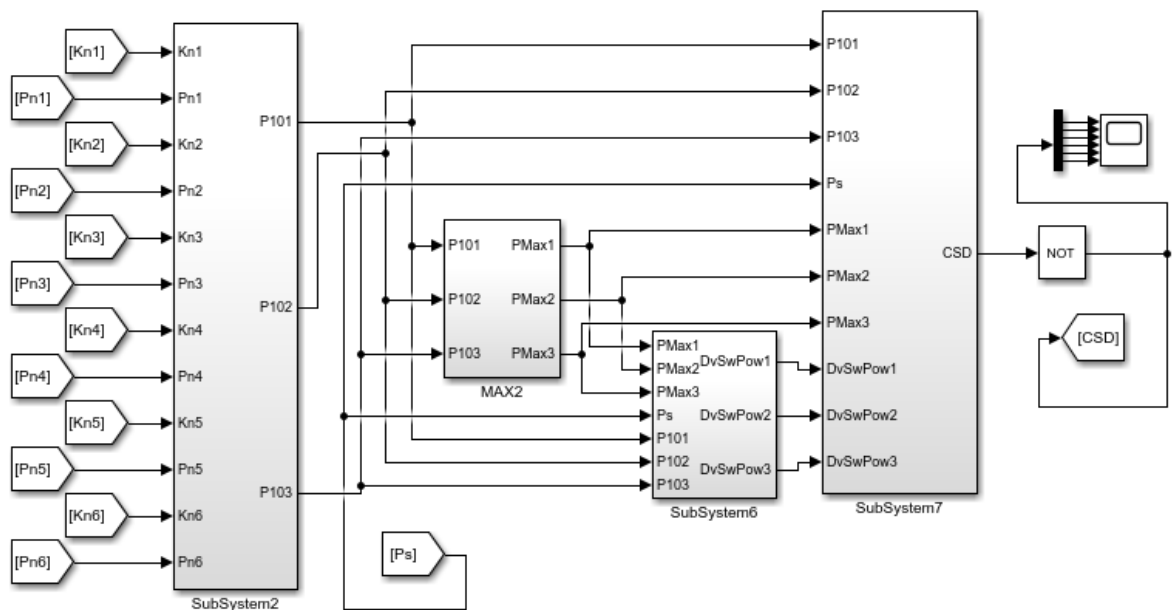


Рисунок 4.3.4 – автоматика выборки на отключение потребителей

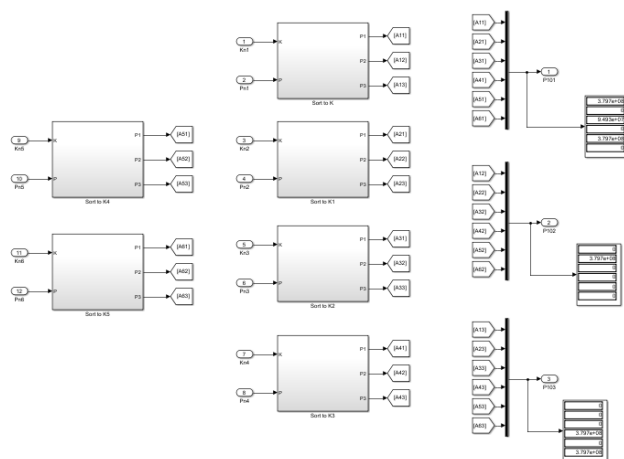


Рисунок 4.3.5 – Блок «SubSystem2»

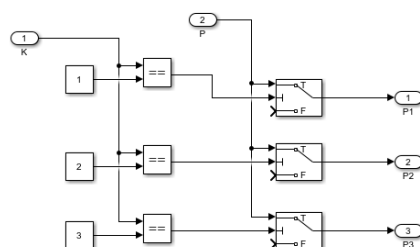


Рисунок 4.3.6 – Блок «Sort to K» из «SubSystem2»

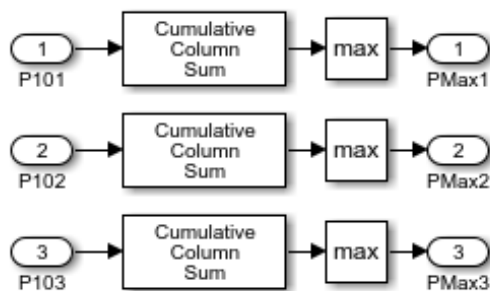


Рисунок 4.3.7 – Блок «MAX2»

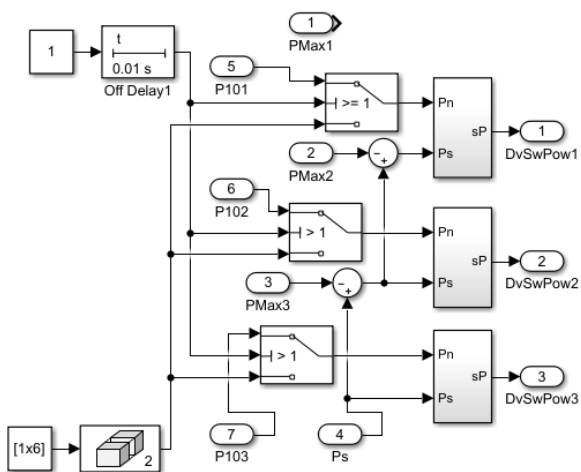


Рисунок 4.3.8 – Блок «SubSystem6»

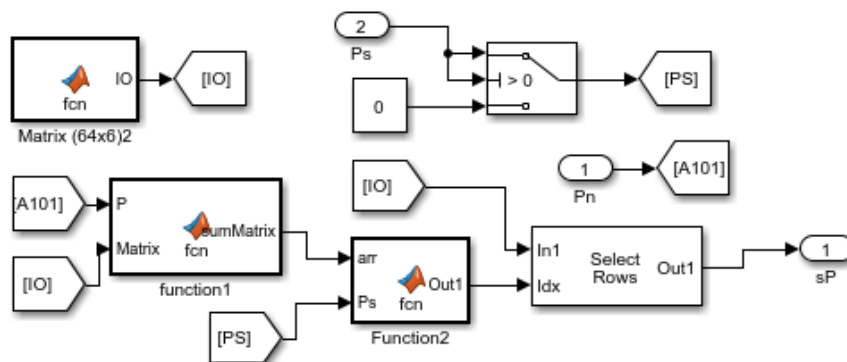


Рисунок 4.3.9 – Блок «Subsystem1» в «SubSystem6»

```
function sumMatrix = fcn(P,Matrix)
sumMatrix=zeros(64,1);
for n=1:64
sumMatrix(n)=sum(Matrix(n,:)*P(:));
end
end
```

Рисунок 4.3.10 – Блок «Function1» из «Subsystem1»

```
function Out1 = fcn(arr,Ps)
[xmin,ind]=min(abs(arr(:)-Ps));
Out1=ind-1;
end
```

Рисунок 4.3.11 – «Function2» из «Subsystem1»

```
function IO = fcn()
IO=zeros(64,6);
for j=1:1:64
K=[0 0 0 0 0 0];
x=j-1;
for i=6:-1:1
if x >= 2^(i-1)
K(i)=1;
x=x-2^(i-1);
else
K(i)=0;
end
end
IO(j,:)=K(:);
end
```

Рисунок 4.3.12 – «Matrix (64x6)» из «Subsystem1»

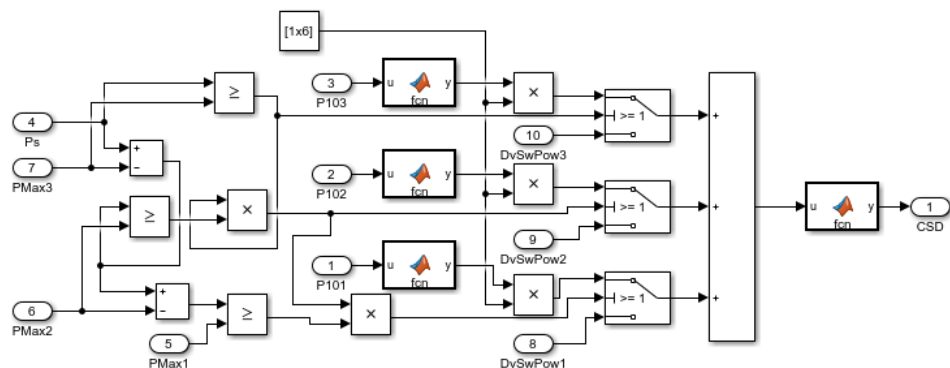


Рисунок 4.3.13 – «Subsystem7»

```

function y = fcn(u)
y=zeros(6,1);
for n=1:6
    if u(n,1)>0
        y(n,1)=1;
    end
end
end

```

Рисунок 4.3.14 – «MatLab Function» из «Subsystem7»

Блок SubSystem2, рисунок 4.3.5, сортирует потребителей по категориям электроснабжения, формирует 3 массива с мощностями: P101, P102, P103.

Блок MAX2 определяет сумму всех элементов массива, в результате получаем 3 числа (PMax1, PMax2, PMax3).

На рисунке 4.3.8 представлена модель блока SubSystem6. Это блок определяет каких потребителей нужно отключить, для того чтобы компенсировать мощность Ps с учетом приоритета. В результате получаем 3 массива: DvSvPow1, DvSvPow2, DvSvPow3.

Далее в блоке Subsystem7, рисунок 4.3.13, проверяются 3 массива (DvSvPow1, DvSvPow2, DvSvPow3) и суммируются, в результате получаем CSD – массив с потребителями, которые останутся подключенные после срабатывания автоматики.

Далее рассмотрим УОН без учета автоматики на включение, рисунок 4.3.15.

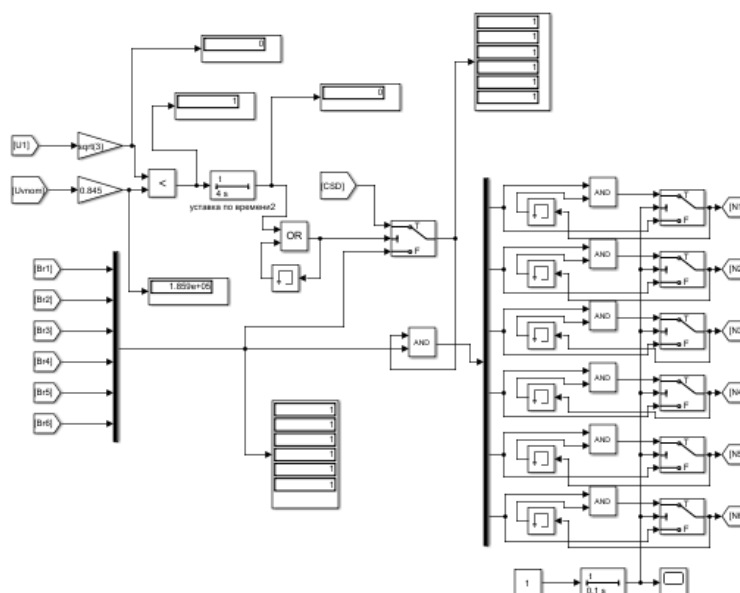


Рисунок 4.3.15 – схема устройства отключения нагрузки без учета автоматики включения.

При снижении напряжения ниже  $0.8U_n$  включается таймер. Пока таймер выдает «0» на выходе логического блока «И» → [Br1,...,Br6] (данным из БД). Как только таймер выдает «1», результатом логического перемножения будет являться массив CSD. Далее массив делится на элементы (Dimux). После чего установлен блок «И» с обратной связью, это сделано для того, чтобы исключить включение потребителей при повышении напряжения.

### Включение потребителей

Автоматика управляющая включением потребителей представлена на рисунке 4.3.16.

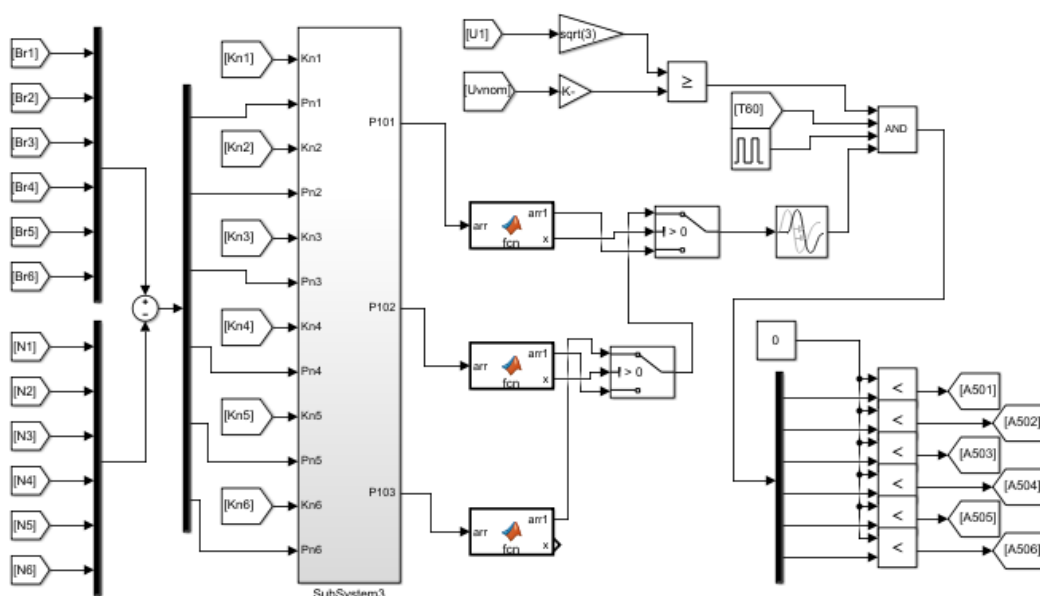


Рисунок 4.3.16 – автоматика управляющая включением потребителей

```
function [arr1,x] = fcn(arr)
arr1=[0;0;0;0;0;0];
if arr==[0;0;0;0;0;0]
    x=1
else
    x=0
end

for j=1:6
    if arr(j)==1
        arr1(j)=1
        break
    end
end
end
```

Рисунок 4.3.17– Matlab Function

## Работа автоматики:

На протяжении всего времени эксплуатации устройства, производится расчет разности  $[Br1, \dots, Br6]$  – нормальное положение выключателей и  $[N1, \dots, N6]$  – реального положения выключателей. Далее блок SubSystem3 сортирует по группам, получаем 3 массива: P101, P102, P103. Схема блока SubSystem3 представлена на рисунке 4.3.5. Затем выполняется Matlab Function, представленный на рисунке 4.3.17.

Matlab Function выполняет 2 функции:

- 1) сравнивает входящий массив с нулевым, если они совпадают то на выходе  $x$  появляется 1,
- 2) находит первый не нулевой элемент входящего массива  $arr$ , меняет элемент нулевого массива  $arr1$  на 1 соответствующий найденному ранее.

Пример :  $arr=[0,0,1,0,1,1] \rightarrow arr1=[0,0,1,0,0,0]$ .

Далее выбираются матрицы с учетом приоритета на включение.

Затем происходит логическое умножение, которое подразумевает под собой выполнение условий:

- 1) напряжение на шинах ВН должно быть больше уставки,
- 2) с момента аварийного отключения нагрузки должно пройти не более 60 секунд ( $T_{60}$ ),
- 3) Pulse Generator, эмулирующий команду на включение каждую секунду.

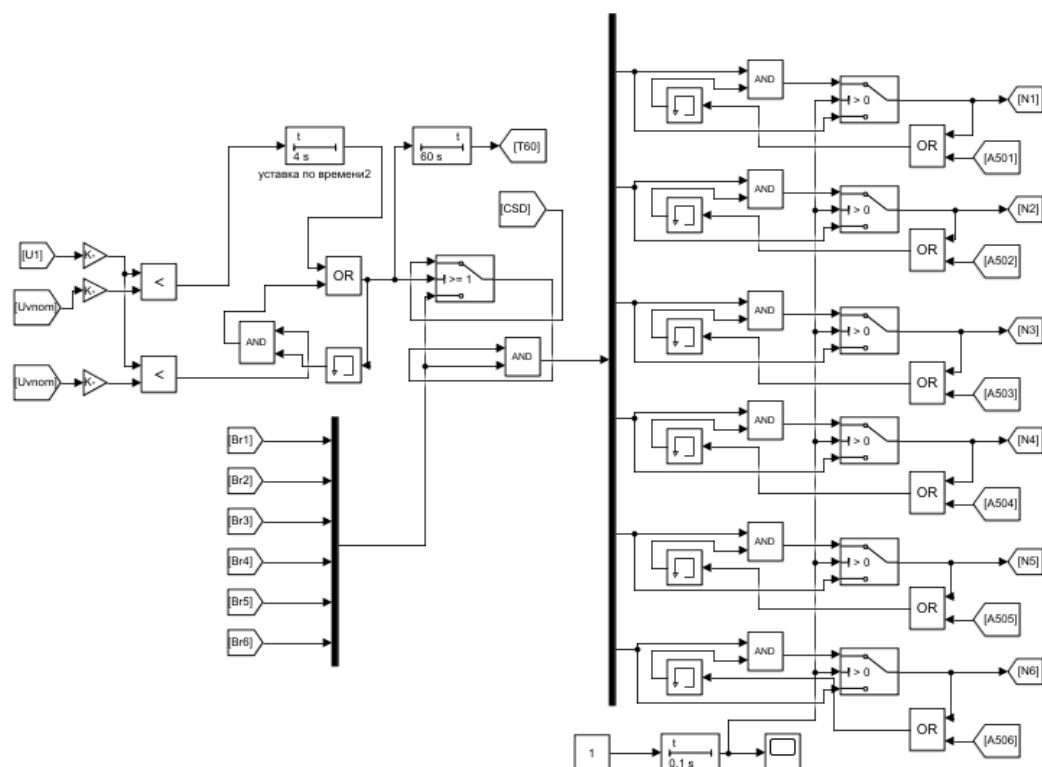


Рисунок 4.3.18 – схема устройства отключения нагрузки с учетом всех автоматик.

На рисунке 4.3.18 представлена финальная версия модели УОН. Отличие от рисунка 4.3.15 заключается в том, что при срабатывании всех условий на включение потребителей разрывается обратная связь, которая не давала потребителям включиться.

#### 4.4 Результаты расчетов и выводы по главе 4

Таблица 4.4.1– Категории электроснабжения потребителей

№	H1	H2	H3	H4	H5	H6
1	2	1	3	1	3	1
2	3	3	3	3	2	1
3	1	1	3	2	1	2
4	1	3	1	2	3	3

Исходное значение напряжения в узле бесконечной мощности представлен на рисунке 4.2.4.

В данном расчете нагрузки потребителей приняты все одинаковыми, меняем только категории эл. снабж. потребителей приведенные в таблице 4.4.1.

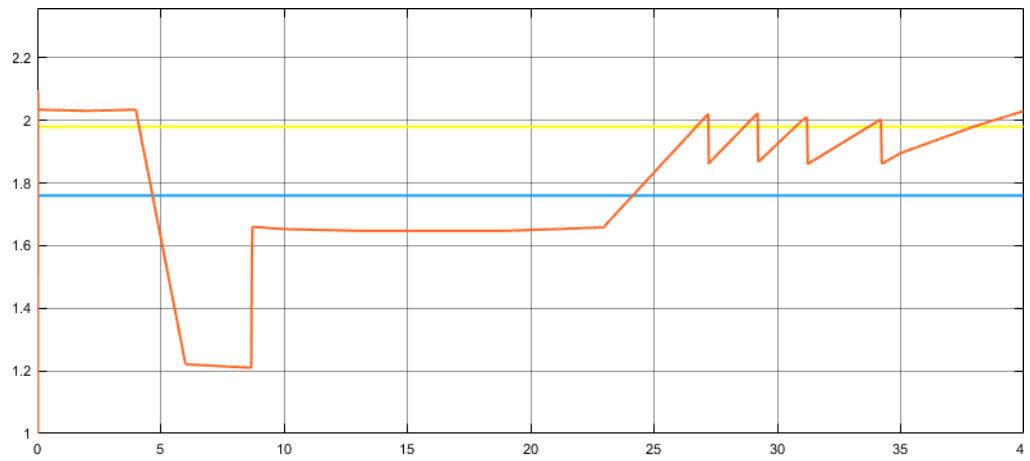


Рисунок 4.4.1– Напряжение ВН при моделировании 1 варианта расчета

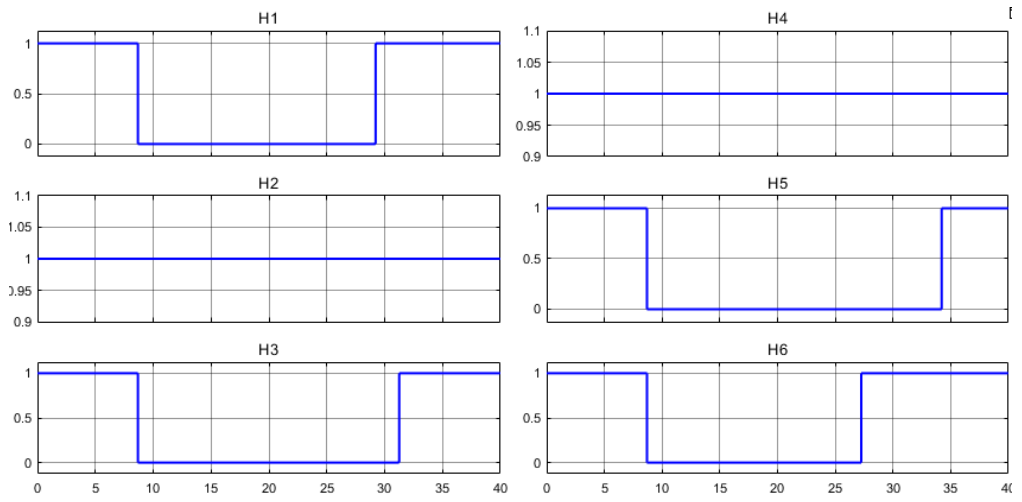


Рисунок 4.4.2– Положение выключателей нагрузки при моделировании 1 варианта расчета

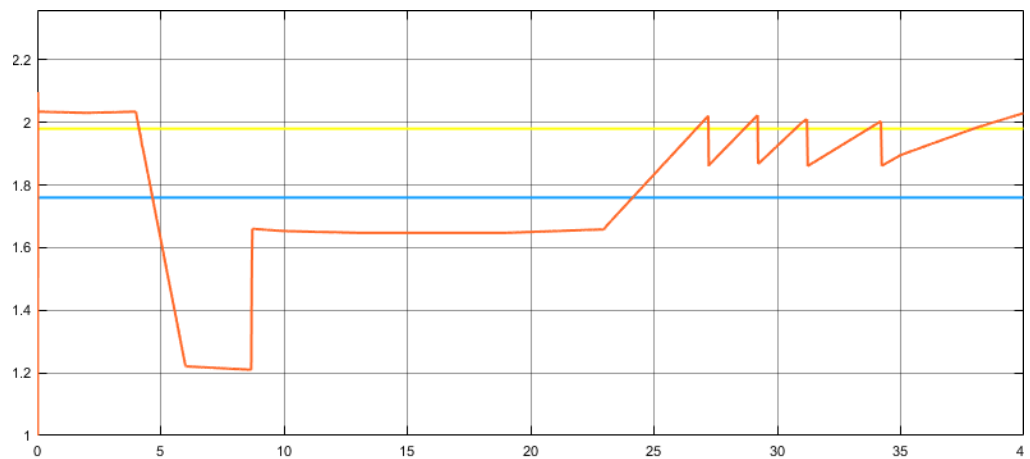


Рисунок 4.4.3– Напряжение ВН при моделировании 2 варианта расчета



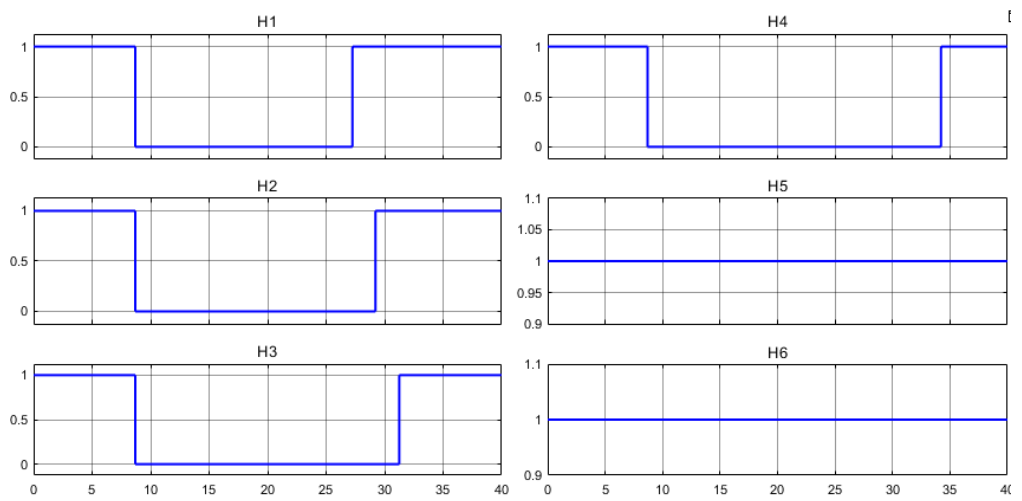


Рисунок 4.4.4– Положение выключателей нагрузки при моделировании 2 варианта расчета

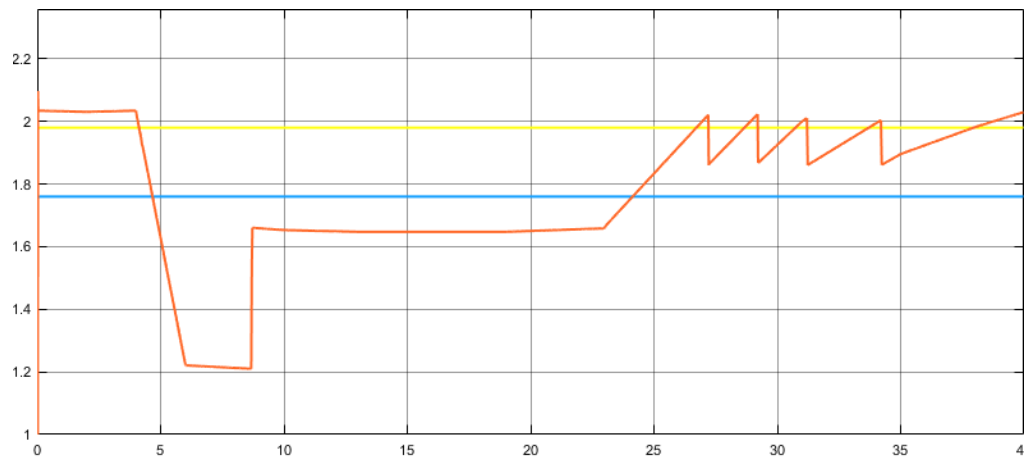


Рисунок 4.4.5– Напряжение ВН при моделировании 3 варианта расчета

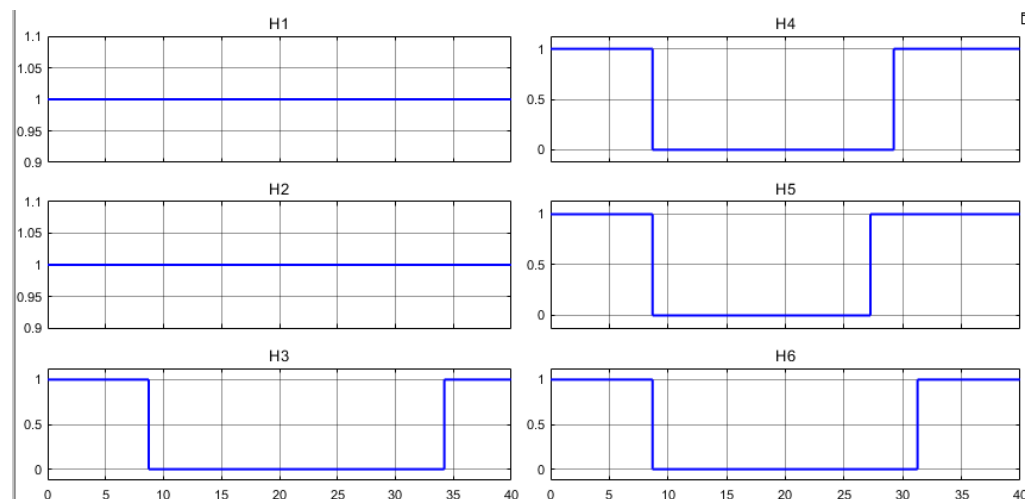


Рисунок 4.4.6– Положение выключателей нагрузки при моделировании 3 варианта расчета

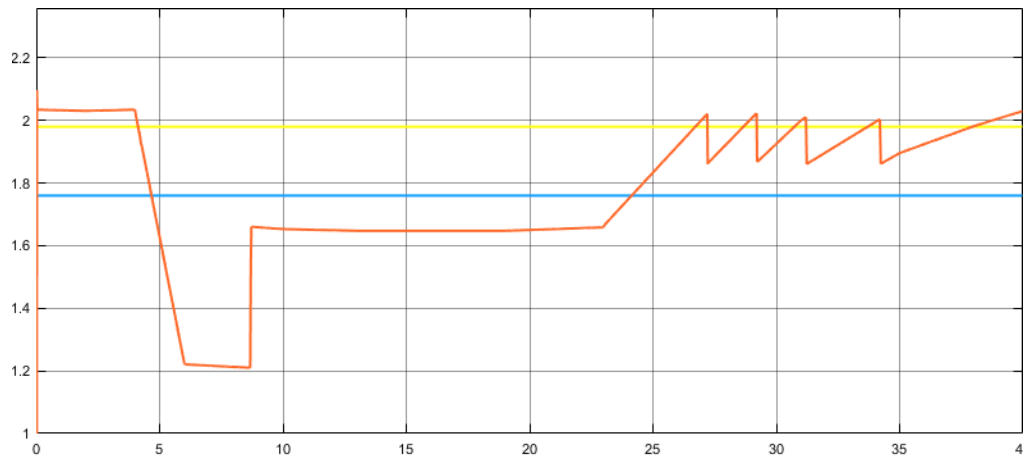


Рисунок 4.4.7– Напряжение ВН при моделировании 4 варианта расчета

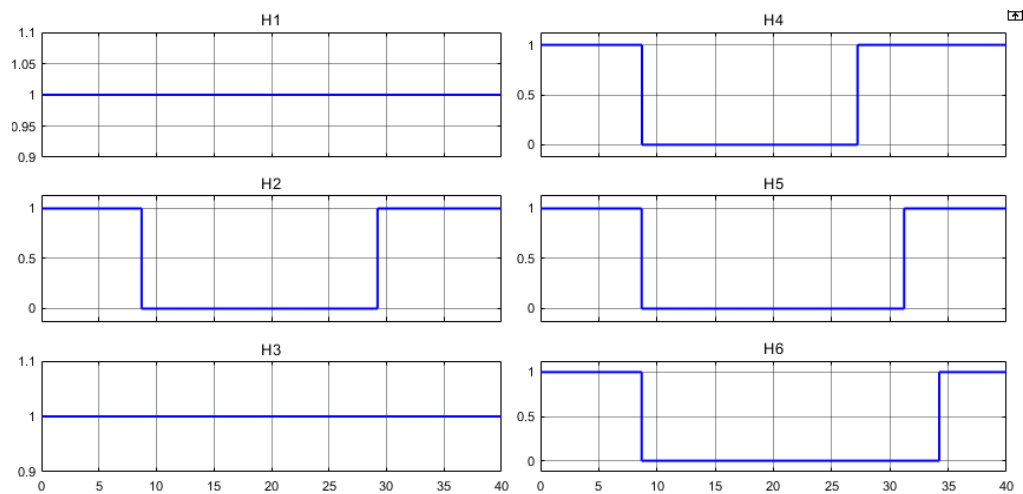


Рисунок 4.4.8– Положение выключателей нагрузки при моделировании 4 варианта расчета

Далее ведем расчет при разных глубинах просадок напряжения.

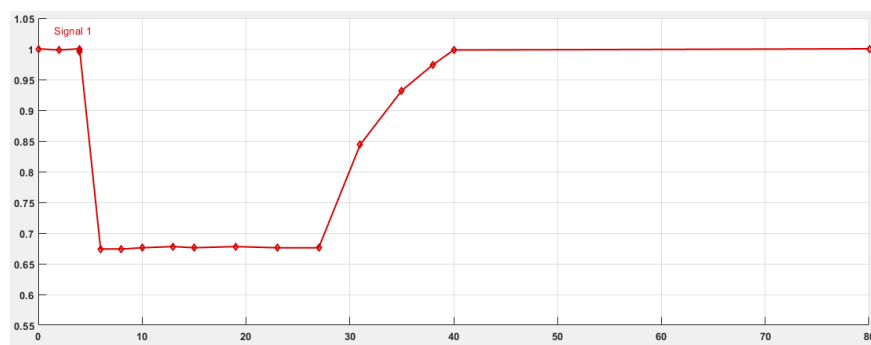


Рисунок 4.4.9– напряжение УБМ при 5 варианте расчета

Категории надежности потребителей будут приниматься те же, что и для расчета №3.

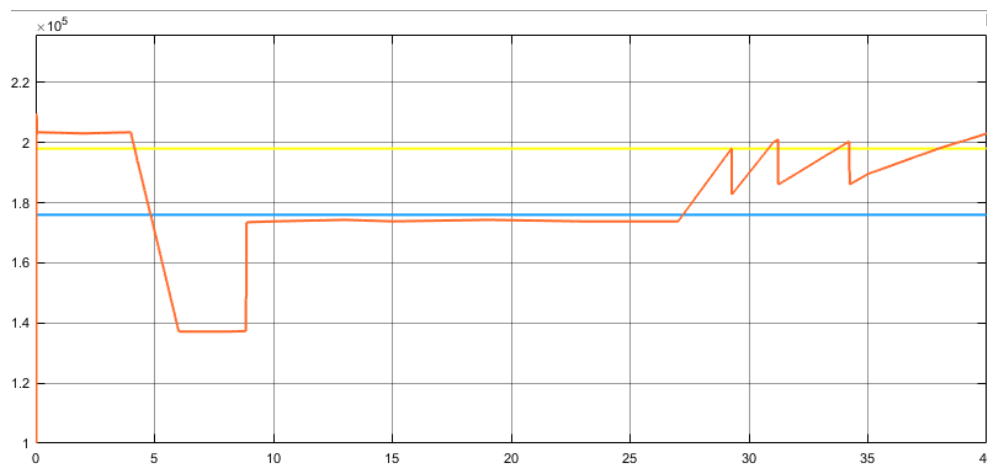


Рисунок 4.4.10– Напряжение ВН при моделировании 5 варианта расчета

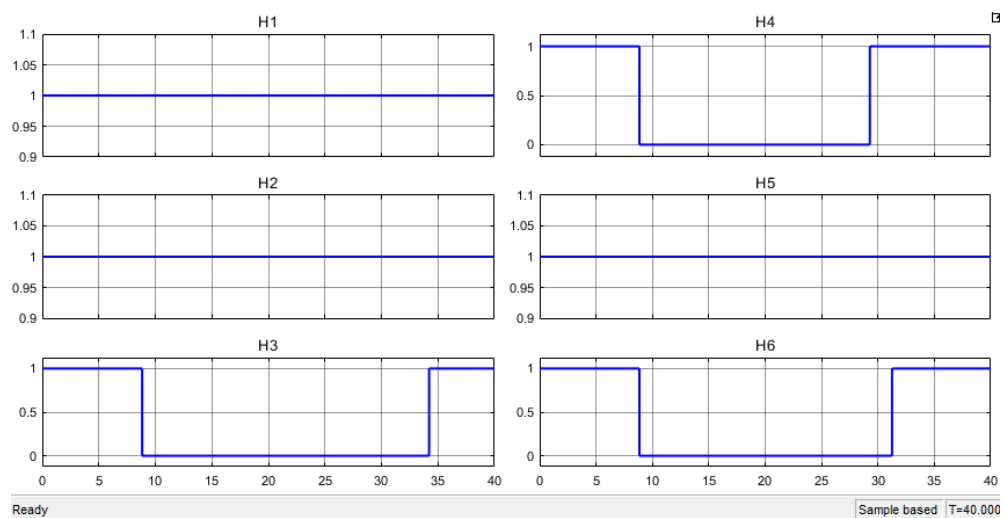


Рисунок 4.4.11– Положение выключателей нагрузки при моделировании 5 варианта расчета

Как видно из результатов расчета данное устройство восстанавливает напряжение, до значений находящихся около  $0.8U_n$ .

В зависимости от глубины просадки меняется количество отключаемых потребителей.

В устройстве присутствует избирательность потребителей.

При повышении напряжения до нормальных значений выполняется поочередное включаются потребителей, ранее отключенных при срабатывании автоматики.

Недостатки данной модели:

- 1) Не учтена блокировка АПВ;
- 2) Не учтены устройства генерирующие реактивную мощность;

3) Недостаточное условие на включение потребителей после срабатывания автоматики.

## **Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- потенциальные потребители результатов исследования;
- анализ конкурентных технических решений;
- SWOT-анализ;
- структура работ в рамках научного исследования;
- трудоемкость выполнения работ;
- график проведения научного исследования;
- бюджет научно-технического исследования (НТИ).

### **5.1 Предпроектный анализ**

Предполагается, что разрабатываемое устройство адаптивной автоматики поможет уменьшить излишние объемы отключения нагрузки и минимизировать ущерб, наносимый потребителю, при действии устройств противоаварийной автоматики (ПА).

Разрабатываемое устройство содержит в себе 2 функции: автоматику ограничения снижения напряжения (АОСН) и устройство отключения нагрузки (УОН). Устанавливается такое устройство на понижающих, распределительных подстанциях.

Предполагаемые потребители данной продукции: ФСК ЕЭС, Россети, МОЭСК, Кубаньэнерго и др. – сетевые компании.

#### **5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Для того, чтобы определить потенциальных потребителей научной разработки необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его

сегментирование. Сегментирование рынка в сфере использования релейной защиты представлено в таблице 5.1.1.1.

Таблица 5.1.1.1 – Карта сегментирования рынка

		РЗ		
		Адаптивные АОСН	Адаптивные комплексы РЗ	Адаптивные УОН
предприятия	Мелкие	+	-	+
	Средние	+	+	+
	Крупные	+	+	+

Примечание: АОСН – автоматика ограничения снижения напряжения; РЗ – релейная защита; УОН – устройство отключения нагрузки.

Данные автоматики могут устанавливаться на подстанциях как отдельно, так и в противоаварийных комплексах.

Основной вид деятельности мелких предприятий – эксплуатация и модернизация сетей. Такие предприятия не могут себе позволить устанавливать крупные противоаварийные комплексы РЗ из-за высокой стоимости. Предполагаемая потребляемая продукция для данного сегмента рынка является отдельный вид автоматики: АОСН, УОН и др.

Средние и крупные предприятия охватят весь спектр устройств РЗ, т.к. помимо эксплуатации и модернизации они занимаются еще и расширением сетей (строительством).

### 5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку

сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Таблица 5.1.2.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_0$	$B_1$	$B_2$	$K_0$	$K_1$	$K_2$
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Помехоустойчивость	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
2.Надежность	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
3.Безопасность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
4.Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
5.Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,6
Экономические критерии оценки эффективности							
1.Конкурентоспособность продукта	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
2.Уровень проникновения на рынок	0,01	4	4	4	0,04	0,04	0,04
3. Цена	0,01	3	3	3	0,03	0,03	0,03
4.Срок выхода на рынок	0,01	4	4	4	0,04	0,04	0,04
5.Наличие сертификации разработки	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
	1				4,87	4,32	3,77

Примечание:  $B_0$ ,  $K_0$  – разрабатываемое устройство;  $B_1$ ,  $K_1$  – устройства серии БМРЗ;  $B_2$ ,  $K_2$  – устройства РЗ производителем которых является SIEMENS.

В данном анализе рассматривал разрабатываемое устройство и уже существующие устройства релейной защиты таких как БМРЗ и SIEMENS. Экономические критерии новой разработки приравнены к уже существующим.

Из проведенного анализа конкурентных технических решений видно, представленного в таблице 5.1.2.1, видно, что разрабатываемая продукция будет пользоваться спросом. Отличия разрабатываемой продукции от уже существующих:

- 1) Надежность данной продукции обусловлена быстротой срабатывания;

2) Помехоустойчивость – каналы связи с внешними устройствами выполнены с помощью интерфейсов пакетной передачи данных: ethernet, wifi, 3G и др.;

3) Безопасность – при передаче информации от устройства предназначенного для настройки блока используется безопасное напряжение (цифровая передача сигнала);

4) Функциональная мощность выражена в том чтобы расширить возможности адаптивной автоматики устройства, т.е. отключение потребителей будет определяться не заранее внесенные в уставки, а определяться в момент аварии;

5) Вероятность подключения к общему диспетчерскому устройству.

### 5.1.3 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Результаты SWOT-анализа представляем в таблице 5.3.1.

Таблица 5.1.3.1 – Матрица SWOT – анализа

	<p>Сильные стороны:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Высокая надежность работы;</li><li>• Уменьшение затрат времени и наладки с контролем защит;</li><li>• Высокая чувствительность к аварийным режимам;</li><li>• Высокая функциональная мощность;</li><li>• Уменьшение количества отключаемых потребителей.</li></ul>	<p>Слабые стороны:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Высокая стоимость шкафа;</li><li>• Требуется отдельные цепи постоянного тока для подключения измерительных трансформаторов.</li></ul>
--	--	--



### Продолжение таблица 5.1.3.1

<p>Возможности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Внедрение улучшений на базе данного шкафа;</li> <li>• Увеличение функциональной мощности;</li> <li>• Улучшение и обновление программного обеспечения;</li> <li>• Возможность замены более дорогостоящих шкафов данными моделями;</li> <li>• Увеличение спроса на данный тип шкафов.</li> </ul>	<p>1. Благодаря своим высоким характеристикам данные шкафы имеют высокую надежность работы и большой срок службы, тем самым принесут прибыль, со временем полностью окупившись;</p> <p>2. Чем меньше отключено потребителей при авариях, тем больше потребленной эл. энергии.</p>	<p>1. Из-за высокой стоимости шкафов возможен отказ инвесторов от финансирования для покупки, но при покупке привлечет;</p> <p>2. Для сохранности и правильной эксплуатации шкафов потребуются обучение и повышение квалификации персонала;</p> <p>3. Для более удобной работы возможно увеличение финансирования для улучшения и обновления программного обеспечения</p>
<p>Угрозы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Высокий уровень конкуренции среди производителей шкафов;</li> <li>• Снижение уровня финансирования на покупку шкафов в связи с экономической ситуацией в стране;</li> <li>• Отказ от закупки новых видов шкафов;</li> <li>• Возможная, дополнительная государственная сертификация шкафов;</li> </ul>	<p>1. Из-за дополнительной государственной сертификации инвесторы могут привлечь дополнительные средства на совершенствование старых технологий;</p> <p>2. Обладая долгим сроком эксплуатации, высокой надежностью и чувствительностью к авариям, данный шкаф выглядит предпочтительнее своих конкурентов</p>	<p>1. Использование данных шкафов на старых операционных системах может привести к отказу от покупки, это и должно стимулировать к финансированию в сторону улучшений;</p> <p>2. Высокая стоимость шкафов также может привести к отказу в покупке, но экономическая и политическая ситуация в стране позволит шкафам отечественного производства иметь определенные преимущества перед зарубежными конкурентами</p>

Как видно из проделанного SWOT–анализа, достоинства внедрения новых устройств релейной защиты на базе микропроцессорной техники превосходят недостатки, поэтому реализация данного проекта вполне возможна.

## 5.2 Структура работ в рамках научного исследования.

Успешная реализация научно-исследовательского проекта не возможна без планирования комплекса работ, которые предполагаются в ходе его осуществления. Планирование данного комплекса работ происходит в следующем порядке:

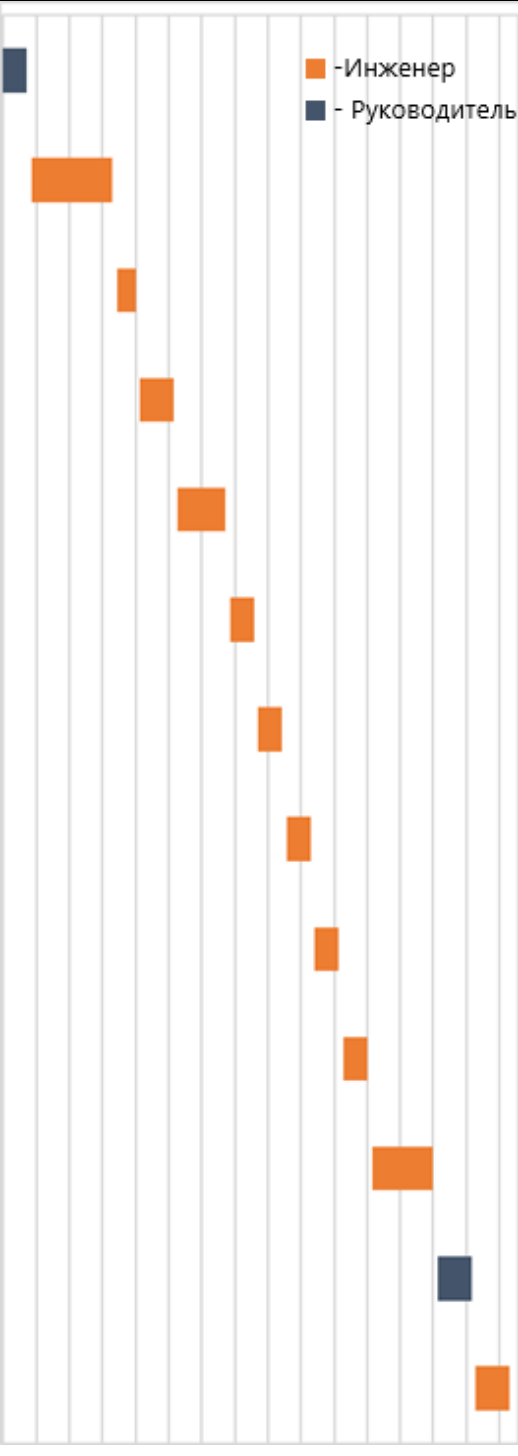
- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, произведем распределение исполнителей по видам работ. Полученные результаты представлены в таблице 5.2.1 и 5.2.2

Таблица 5.2.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение необходимой литературы	Инженер
	3	Патентный поиск	Инженер
Выбор направления исследований	4	Описание предметной области и задач исследования	Инженер
	5	Описание существующих способов и средств поддержания режимных параметров ЭЭС	Инженер
Теоретические исследования	6	Разработка общих требований к адаптивной автоматике разгрузки энергоузла	Инженер
	7	Выполнение раздела «Социальная ответственность»	Инженер
	8	Выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Инженер
	9	Разработка алгоритма работы ААРЭ	Инженер
	10	Разработка структурно-функциональной схемы ААРЭ	Инженер
	11	Моделирование работы ААРЭ	Инженер
оценка результатов	12	Проверка выполненной работы руководителем	Руководитель проекта
Оформление отчета по НИР	13	Завершающий этап: оформление работы в соответствии со стандартами	Инженер

Таблица 5.2.2 – Календарный план проекта и диаграмма Ганта

Название	Длитель- ность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников	февраль	март	апрель	май
Составление и утверждение технического задания	5	13.02.2020	18.02.2020	Руководитель проекта	<div><div></div> -Инженер</div> <div><div></div> - Руководитель</div> 			
Подбор и изучение необходимой литературы	17	19.02.2020	7.03.2020	Инженер				
Патентный поиск	4	8.03.2020	12.03.2020	Инженер				
Описание предметной области и задач исследования	7	13.03.2020	20.03.2020	Инженер				
Описание существующих способов и средств поддержания режимных параметров ЭЭС	10	21.03.2020	31.03.2020	Инженер				
Разработка общих требований	5	1.04.2020	6.04.2020	Инженер				
Выполнение раздела «Социальная ответственность»	5	7.04.2020	12.04.2020	Инженер				
Выполнение раздела «Финансовый менеджмент	5	13.04.2020	18.04.2020	Инженер				
Разработка алгоритма работы	5	19.04.2020	24.04.2020	Инженер				
Разработка структурно-функциональной схемы	5	25.04.2020	30.04.2020	Инженер				
Моделирование работы	13	1.05.2020	14.05.2020	Инженер				
Проверка выполненной работы руководителем	7	15.05.2020	22.05.2020	Руководитель проекта, Инженер				
Завершающий этап: оформление работы в соответствии со стандартами	7	23.05.2020	30.05.2020	Инженер				
итого	95							

### 5.3 Стоимость научного исследования

#### Определение материальных затрат на выполнение работы

В элементе «Материальные затраты» отражается стоимость приобретенных со стороны сырья и материалов, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при проведении работ.

Таблица 5.3.1 – Материальные затраты

Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
бумага	пачка	1	200	200
Ручка шариковая	шт.	2	20	40
Картридж для принтера	шт.	1	1500	1500
Карандаш	шт.	1	20	20
USB-флешка	шт.	1	500	500
Итого:				2260

#### Определение полной заработной платы исполнителей темы

В настоящую статью включается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, 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.

1) Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}},$$

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

$З_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (12-15 % от  $З_{\text{осн}}$ ).

Основная заработная плата ( $З_{\text{осн}}$ ) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T,$$

где  $З_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника в день, руб.;

T – потраченные дни на выполнение.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{окл}}(1 + k_{\text{пр}})(1 + k_{\text{р}})}{F},$$

где  $З_{\text{окл}}$  – оклад;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент (до 30% от оклада);

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент (для Томска 30%);

F – кол-во рабочих дней в месяце.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице

Таблица 5.3.2 – Расчет заработной платы

		Руководитель	Инженер
$З_{\text{окл}}, \text{руб}$		23264,86	14874,45
февраль	$З_{\text{дн}}, \text{руб}$	1 224,47	782,866
	T, дн.	5	11
	$\Sigma, \text{руб}$	6 122,33	8 611,52
март	$З_{\text{дн}}, \text{руб}$	-	708,307
	T, дн.	-	31
	$\Sigma, \text{руб}$	-	21 957,52
апрель	$З_{\text{дн}}, \text{руб}$	-	676,11
	T, дн.	-	30
	$\Sigma, \text{руб}$	-	20 283,34
май	$З_{\text{дн}}, \text{руб}$	1 368,47	874,97
	T, дн.	7	31
	$\Sigma, \text{руб}$	9 579,29	27 124
Итого без учета $k_{\text{пр}}$ и $k_{\text{р}}$		15 701,62	77 976,38
$k_{\text{пр}}$		0,3	0,3
$k_{\text{р}}$		0,3	0,3
		26 535,7378	131 780,0822
Итого:		158315,82	

2) Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и

общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} З_{\text{осн}}$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$З_{\text{доп}} = 0,15 \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 158315,82 = 23\,747,373 \text{ руб.}$$

Полная заработная плата исполнителей:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} = 158315,82 + 23\,747,373 = 182\,063,193 \text{ руб.}$$

### **Определение отчислений во внебюджетные фонды (страховые отчисления)**

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot З_{\text{зп}} = 0,302 \cdot 182\,063,193 = 54\,983,084 \text{ руб.}$$

### **Определение амортизации основных фондов**

Амортизация основных фондов и нематериальных активов представляет собой сумму амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, исчисленную исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Нормы амортизации принята равной величине, обратной сроку службы.

Таблица 5.3.3 – Определение амортизации

Наименование	Кол- во, шт.	Цена за ед., руб.	Срок службы, лет	Дн. Пользо- вания	Норма амортизации в год, о.е.	Амортизация, руб.
Компьютер персональный	1	30000	5	95	0,2	1 561,64
Принтер	1	4000	5	7	0,2	15,34
Итого						1 576,982

#### Определение накладных расходов

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется как 10% от суммы затрат по всем предыдущим статьям.

#### Формирование бюджета затрат на реализацию научно-исследовательской работы

Таблица 5.3.4 – Сводная таблица затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	2260
Затраты по основной и дополнительной заработной плате исполнителей	182063,193
Отчисления во внебюджетные фонды	54983,084
Амортизация	1576,982
Накладные расходы	24 088,3259
Бюджет затрат	264 971,585

Рассчитанная величина затрат проектирования работы является основой для формирования бюджета затрат проекта.

## 5.4 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 5.4.1 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Некачественное планирование работы	Непредвиденные расходы, несоблюдение сроков	2	5	высокий	Грамотное планирование работы	Неверный выбор исполнителей
2	Отсутствие или задержка финансирования	Незавершение проекта	3	2	средний	Поиск надежных источников финансирования	Неверный выбор источников финансирования
3	Недобросовестные исполнители	Незавершение проекта (в срок)	1	5	средний	Подбор ответственных исполнителей	Неверный выбор исполнителей
4	Отсутствие опыта у исполнителей	Незавершение проекта в срок	5	2	средний	Подбор исполнителей	Неверный выбор исполнителей
5	Неудовлетворительное качество ресурсов	Задержка исполнения проекта	2	2	средний	Тщательный выбор ресурсов	Нерациональный выбор ресурсов
6	Несоблюдение техники безопасности при работе на ПК	Вред здоровью исполнителей, задержка исполнения проекта	1	1	низкий	Соблюдение правил ТБ на рабочем месте	Игнорирование инструкций ТБ
7	Непредвиденные расходы	Незавершение проекта	2	2	низкий	Контроль расходов	Отсутствие контроля над расходами
8	Неоправданность денежных средств	Остановка исполнения проекта	3	5	высокий	Анализ рисков проекта	Безграмотная оценка проекта
9	Повышение налоговых ставок / инфляции	Остановка исполнения проекта	2	2	средний	Закладка бюджета с запасом	Неблагоприятная экономическая обстановка в стране



## 5.5 Определение экономической эффективности проекта

Информация по стоимости разработки и внедрения устройства автоматики получена от проектного института.

Таблица 5.5.1 – Смета разработки и внедрения устройства

Наименование работы	Сметная стоимость, тыс. руб		Итого, тыс. руб
	материалы	Стоимость работ	
Разработка логических схем алгоритма устройства	Из таблицы 5.3.4		265
Проверка работоспособности и функционирования алгоритмов			
Оформление технической документации, получение патента	5	150	155
Анализ и поиск подрядной организации	-	10	10
Изготовление терминала подрядной организацией	800	300	1100
Пусконаладочные работы, сдача в эксплуатацию	-	120	120
Оформление документации по эксплуатации	10	100	110
Социальные отчисления, 30%	528		
Амортизация, 2,8%	49,28		
Непредвиденные расходы, 3%	52,8		
<b>ИТОГО</b>	<b>2 391,08</b>		

Эффективность устройства автоматики определяется увеличением надежности электроснабжения, то есть предотвращённым ущербом за счёт внедрения данного устройств:

$$\mathcal{E} = \mathcal{U}^{\text{до}} - \mathcal{U}^{\text{после}},$$

где  $\mathcal{U}^{\text{до}}$  – ущерб до внедрения устройства;

$\mathcal{U}^{\text{после}}$  – ущерб после внедрения устройства.

Экономическая оценка осуществляется с точки зрения нефтедобывающей компании, имеющей собственную электростанцию малой мощности.

Ущерб при отсутствии в энергорайоне адаптивной автоматики разгрузки энергоузла складывается из двух составляющих – ущерба от полного погашения электростанции и ущерба от недоотпуска продукции вследствие нарушения технологического процесса:

$$y^{до} = y_{откл} + y_{тп}$$

Ущерб при наличии в энергорайоне ААРЭ состоит только из потерь электроснабжения неответственных потребителей, вследствие выделения энергорайона на сбалансированную нагрузку:

$$y^{после} = y_{откл \text{ нагр}}$$

Технологический ущерб представляет собой финансовые потери при простое от добычи нефти. Суммарная нагрузка подстанции составляет 14,6 МВт, мощность генераторов изолированного энергорайона – 1х6,3 МВт, загружены на 80%. По статистике, в энергосистеме в течение года происходит в среднем 4 аварии, связанные с выделением энергорайона на изолированную работу. Согласно отчетам Министерства энергетики РФ аварии с отключением потребителей происходят в среднем 7 раз в год.

Коммерческий ущерб от недоотпуска электроэнергии за один день:

$$y_{откл}^{до} = P^{до} T_{max} Ц,$$

где Ц – цена на электрическую мощность для Тюменской области, составляет 271,85 руб./МВт;

$P^{до}$ ,  $P^{после}$  – потери активной мощности в результате аварии;

$T_{max}$  – время максимума нагрузки в год.

При наличии собственной генерации, себестоимость электроэнергии будет ниже примерно на 60%, так как потребителю не нужно оплачивать услуги по передаче электрической энергии (плата за транспорт) и сбытовую надбавку поставщика.

$$y_{откл}^{до} = \frac{14,6 \cdot 7000 \cdot 271,85}{365} = 23\,982,38 \text{ руб}$$

$$y_{\text{откл}}^{\text{после}} = P^{\text{после}} T_{\text{max}} C = \frac{6,3 \cdot 7000 \cdot 271,85}{365} = 10\,348,56 \text{ руб.}$$

Известно, что подстанция распределительной сети снабжает электрической энергией месторождение с суточной добычей 70,9 тонн нефти среднесуточно.

Таким образом, коммерческий ущерб при нарушении технологического процесса на 1 день, при учете того, что 0,1364 тонн нефти = 1 баррелю, стоимость 1 бар нефти около 50 долларов, а курс доллара – 70 рублей:

$$y_{\text{тп}} = \frac{70,9 \frac{14,6 - 6,3}{14,6} \cdot 50 \cdot 70}{0,1364} = 1\,034\,249,09 \text{ руб.}$$

Потери прибыли за 1 день нарушения электроснабжения предприятия:

$$\begin{aligned} \Pi &= y^{\text{до}} - y^{\text{после}} = (y_{\text{откл}}^{\text{до}} + y_{\text{тп}}) - (y_{\text{откл}}^{\text{после}}) = \\ &= (23\,982,38 + 1\,034\,249,09) - (10\,348,56) = 1\,047\,882,91 \text{ руб.} \end{aligned}$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{A \cdot \Pi}{K} = \frac{7 \cdot 1\,047,883}{2\,391} = 3,067 \text{ дней,}$$

где  $A$  – кол-во аварий в год;  $K$  – кап. вложения для реализации проекта.

### Выводы по главе 5

Из данных вычислений можно сделать вывод, что средства, потраченные на проведение научного исследования, и установку оборудования на данном предприятии окупятся всего за 1 аварию. А так как за год в среднем происходит 7 аварий, то можно сделать вывод, что установка разработанного устройства окупится за 4 дня.

Оценка внутренней нормы доходности, индекса рентабельности проекта не может быть выполнена ввиду того, что срабатывание автоматики носит вероятностный характер, то есть может произойти или не произойти в данном промежутке времени в данном месте. Прогнозирование вероятности аварии в ЭЭС и срабатывания ПА требует дополнительных расчетов, не имеющих абсолютной точности.