

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

Школа: Инженерная школа энергетики
 Отделение школы: Электроэнергетики и электротехники
 Направление подготовки 09.04.03 Прикладная информатика
 Профиль: Информационные технологии в электроэнергетике

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Программная реализация алгоритма определения максимальных нагрузочных режимов для отстройки дистанционной релейной защиты

УДК 004.415:621.316.925

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
О-5КМ81	Бахтеев Максим Константинович		

Руководитель ВКР

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент, ОИТ ИШИТР ТПУ	Шерстнев В.С.	К. Т. Н.		

Консультанты:

По выпускной квалификационной работе

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент, ОЭЭ ИШЭ ТПУ	Свечкарев С.В.	К. Т. Н.		
ст. преподаватель, ОИТ ИШИТР ТПУ	Лепустин А.В.			

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП ТПУ	Жиронкин С.А.	д-р. экон. наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент, ООД ШБИП ТПУ	Сечин А.А.	К. Т. Н.		

Допустить к защите:

Руководитель ООП

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент, ОЭЭ ИШЭ ТПУ	Прохоров А. В.	К. Т. Н.		

Компетенции выпускника основной образовательной программы магистратуры по направлению 09.04.03 «Прикладная информатика»

Код компетенции	Наименование компетенции
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
ОПК(У)-1	Способен самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте
ОПК(У)-2	Способен разрабатывать оригинальные алгоритмы и программные средства, в том числе с использованием современных интеллектуальных технологий, для решения профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способен анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями
ОПК(У)-4	Способен применять на практике новые научные принципы и методы исследований
ОПК(У)-5	Способен разрабатывать и модернизировать программное и аппаратное обеспечение информационных и автоматизированных систем
ОПК(У)-6	Способен исследовать современные проблемы и методы прикладной информатики и развития информационного общества
ОПК(У)-7	Способен использовать методы научных исследований и математического моделирования в области проектирования и управления информационными системами
ОПК(У)-8	Способен осуществлять эффективное управление разработкой программных средств и проектов
ПК(У)-1	Способен анализировать бизнес-процессы в электроэнергетике, создавать и применять информационные модели для их автоматизации
ПК(У)-2	Способен самостоятельно осваивать и применять информационные технологии для автоматизации бизнес-процессов в электроэнергетике
ПК(У)-3	Способен выявлять ошибки и неисправности в работе информационных систем, предлагать решения по их устранению, реализовывать технические мероприятия по обеспечению требований к надежности и информационной безопасности

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

Школа: Инженерная школа энергетики
Отделение школы: Электроэнергетики и электротехники
Направление подготовки 09.04.03 Прикладная информатика
Профиль: Информационные технологии в электроэнергетике

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф. И. О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
О-5КМ81	Бахтеев Максим Константинович

Тема работы:

Программная реализация алгоритма определения максимальных нагрузочных режимов для отстройки дистанционной релейной защиты	
Утверждена приказом директора	147-59/с от 26.05.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.01.2021
------------------------------------------	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ol style="list-style-type: none">1. Схема ОЭС Сибири в ПК «RastrWin3».2. Нормальная схема электрических присоединений объектов электроэнергетики, входящих в операционную зону ОДУ Сибири, данные по генерирующему и сетевому оборудованию.
---------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка алгоритма для автоматизированного расчета МНР. 2. Разработка и реализация модуля, отвечающего за взаимодействие ПО RastrWin3 с разрабатываемым приложением. 3. Разработка и реализация модулей, отвечающего за расчет режимов. 4. Разработка и реализация модуля, отвечающего за формирования итогового отчета.
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Схема основных связей энергосистемы Сибири.

Консультант по выпускной квалификационной работе

Лепустин Алексей Владимирович, ст. преподаватель ОПТ ИШИТР ТПУ
Свечкарев Сергей Владимирович, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Жиронкин С.А, профессор Отделения социально-гуманитарных наук ШБИП ТПУ
Социальная ответственность	Сечин А.А., доцент Отделения общетехнических дисциплин ШБИП ТПУ

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

--

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	29.06.2020
-------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

Задание выдал руководитель:

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент, ОИТ ИШИТР ТПУ	Шерстнев В.С.	к. т. н.		29.06.2020

СОГЛАСОВАНО

Консультанты по ВКР:

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент, ОЭЭ ИШЭ ТПУ	Свечкарев С.В.	к.т.н.		29.06.2020
ст. преподаватель, ОИТ ИШИТР ТПУ	Лепустин А.В.			29.06.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
О-5КМ81	Бахтеев Максим Константинович		29.06.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Студенту:

Группа	ФИО
О-5КМ81	Бахтеев Максим Константинович

Школа	Инженерная школа энергетики	Подразделение	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	09.04.03 Прикладная информатика

Тема работы:

Программная реализация алгоритма определения максимальных нагрузочных режимов для отстройки дистанционной релейной защиты	
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент»:	
<i>Характеристика объекта исследования и области его применения</i>	<i>Объект исследования – алгоритм для расчетов максимальных нагрузочных режимов. Применяется в службе электрических режимов АО «СО ЕЭС»</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><i>1. Предпроектный анализ:</i></p> <p><i>1.1. Потенциальные потребители результатов исследования;</i></p> <p><i>1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;</i></p> <p><i>1.3. SWOT-анализ;</i></p> <p><i>1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации.</i></p>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. SWOT-анализ.</i>
<p><i>2. Инициация проекта:</i></p> <p><i>2.1. Цели и результат проекта;</i></p> <p><i>2.2. Организационная структура проекта;</i></p> <p><i>2.3. Ограничения и допущения проекта.</i></p>	<i>Цель работы – программная реализация алгоритма автоматизации расчетов максимальных нагрузочных режимов (МНР) для отстройки релейной защиты.</i>
<p><i>3. Планирование управления научно-техническим проектом:</i></p> <p><i>3.1 Иерархическая структура работ проекта;</i></p> <p><i>3.2 Контрольные события проекта;</i></p> <p><i>3.3 План проекта;</i></p> <p><i>3.4 Бюджет научного исследования;</i></p> <p><i>3.5 Матрица ответственности;</i></p> <p><i>3.6 План управления коммуникациями проекта;</i></p> <p><i>3.7 Реестр рисков проекта.</i></p>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ.</i>
<p><i>4. Определение финансовой и ресурсной эффективности проекта</i></p>	<i>Расчет показателей экономической эффективности</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	29.06.2020
-------------------------------------------------------------	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор, ОСГН ШБИП ТПУ	Жиронкин Сергей Александрович	д-р. экон. наук		29.06.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
О-5КМ81	Бахтеев Максим Константинович		29.06.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
О-5КМ81	Бахтеев Максим Константинович

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	09.04.03 Прикладная информатика

Тема ВКР:

Программная реализация алгоритма определения максимальных нагрузочных режимов для отстройки дистанционной релейной защиты	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Объект исследования – алгоритм для расчетов максимальных нагрузочных режимов. Применяется в службе электрических режимов АО «СО ЕЭС»
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные, правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	ТК РФ, ГОСТ 21889-76, ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ, ГОСТ Р 50923-96, ГОСТ Р ИСО 9241-2-2009
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– превышение уровня шума – повышенный уровень ЭМИ – отклонение показателей микроклимата – недостаток освещенности рабочей зоны – поражение электрическим током
3. Экологическая безопасность:	– Утилизация отходов производства и потребления.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– Пожарная безопасность

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	29.06.2020
------------------------------------------------------	------------

Задание выдал консультант:

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ООД ШБИП ТПУ	Сечин Андрей Александрович	к. т. н.		29.06.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
О-5КМ81	Бахтеев Максим Константинович		29.06.2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа: Инженерная школа энергетики

Отделение школы: Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 09.04.03 Прикладная информатика

Профиль: Информационные технологии в электроэнергетике

Период выполнения: весенний/осенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:

23.01.2021

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.07.2020	Создание алгоритма для автоматизированного расчета МНР в программном комплексе RastrWin3	15
15.09.2020	Разработка и реализация модуля, отвечающего за взаимодействие ПО RastrWin3 с разрабатываемым приложением	20
20.11.2020	Разработка и реализация модулей, отвечающего за расчет необходимых режимов	25
12.12.2020	Разработка и реализация модуля, отвечающего за формирование итогового отчета	25
25.12.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	5
30.12.2020	Социальная ответственность	5
20.01.2021	Оформление расчётно-пояснительной записки	5

Составил руководитель ВКР:

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент, ОИТ ИШИТР ТПУ	Шерстнев В.С.	к. т. н.		29.06.2020

СОГЛАСОВАНО

Консультанты по ВКР:

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент, ОЭЭ ИШЭ ТПУ	Свечкарев С.В.	к.т.н		29.06.2020
ст. преподаватель, ОИТ ИШИТР ТПУ	Лепустин А.В.			29.06.2020

Руководитель ООП:

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент, ОЭЭ ИШЭ ТПУ	Прохоров А. В.	к. т. н.		29.06.2020

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 106 страниц, 21 рисунок, 40 таблиц, 22 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: Microsoft Visual Studio, Windows Forms, .NET Framework, C#, RastrWin3, ASTRALib.dll, нагрузочные режимы, релейная защита, дистанционная защита, электроэнергетика.

Объектом исследования является методика расчета максимальных нагрузочных режимов для отстройки релейной защиты.

Предметом исследования является приложение, реализующее алгоритм расчета максимальных нагрузочных режимов для отстройки релейной защиты.

Цель работы: программная реализация алгоритма определения максимальных нагрузочных режимов для отстройки дистанционной релейной защиты.

При проектировании были использованы следующие программные средства: MS Visual Studio, RastrWin3, MS Excel, Pencil, Graph Editor.

Область применения: выполнение специалистами службы электрических режимов Филиалов АО «СО ЕЭС» делового процесса по определению максимальных нагрузочных режимов для отстройки релейной защиты.

Практическое применение: использование приложения позволит существенно сократить время, необходимое специалисту СЭР на проведение расчетов максимальных нагрузочных режимов для отстройки дистанционной релейной защиты.

Список используемых сокращений и терминов

АДП – аварийно допустимый переток активной мощности в контролируемом сечении;

АДТН – аварийно допустимая токовая нагрузка;

АОПН – автоматика ограничения повышения напряжения;

АТ – автотрансформатор;

ВИР – вектор изменения режима;

ДДТН – длительно допустимая токовая нагрузка;

ДЗ – дистанционная защита;

ДЗЛ – дифференциальная защита ЛЭП;

ДДРТ – длительно допустимый рабочий ток;

ДФЗ – дифференциально-фазная защита;

ДЦ – диспетчерский центр АО «СО ЕЭС»;

КЗ – короткое замыкание;

ЛЭП – линия электропередачи;

МДП – максимально допустимый переток активной мощности в контролируемом сечении;

МТЗ – максимальная токовая защита;

МНР – максимально нагрузочный режим;

НВЧЗ – направленная высокочастотная защита;

НДЗ – направленная и дифференциально-фазная высокочастотная защита;

НК – амплитуда нерегулярных колебаний активной мощности в контролируемом сечении;

ПБВ – устройство регулирования коэффициента трансформации трансформатора (автотрансформатора) без возбуждения;

ПУР – положение по управлению режимами работы энергосистемы в операционной зоне ДЦ;

РЗ – релейная защита;

РПН – устройство регулирования коэффициента трансформации трансформатора (автотрансформатора) под нагрузкой;

СМЗУ – Система мониторинга запаса устойчивости;

СРЗА – Служба релейной защиты и автоматики;

СЭ – сетевой элемент (ЛЭП, электросетевое оборудование);

СЭР – Служба электрических режимов;

УРОВ – устройство резервирования отказа выключателя;

УР – установившийся режим;

ШСВ – шиносоединительный выключатель.

Технический минимум – нижний предел регулировочного диапазона активной мощности генерирующего оборудования, для достижения которого допускаются изменение состава работающего основного оборудования и вспомогательного оборудования и отключение автоматического регулирования;

Технологический минимум – нижний предел регулировочного диапазона активной мощности генерирующего оборудования исходя из требований его работы при минимально допустимом для этого режима работы составе вспомогательного оборудования и сохранении автоматического регулирования или отдельных регуляторов.

Угол нагрузки – угол между векторами напряжения и тока на сетевом элементе в месте установки устройства РЗ;

Располагаемая мощность генерирующего оборудования – установленная мощность генерирующего оборудования, сниженная на величину ограничений установленной мощности или увеличенная на величину длительно допустимого превышения над номинальной мощностью отдельных типов турбоагрегатов;

Обратный переток мощности – переток мощности с направлением мощности из сетевого элемента к шинам;

Прямой переток мощности – переток мощности с направлением мощности от шин в сетевой элемент;

Содержание

Введение.....	15
1. Описание и анализ предметной области.....	16
1.1 Описание проблемы.....	16
2 Проектирование программного обеспечения.....	23
2.1 Определение требований к программному обеспечению.....	23
2.2 Диаграмма вариантов использования.....	24
2.3 Диаграмма взаимодействия.....	29
2.4 Архитектура модуля.....	31
2.5 Диаграмма классов.....	33
2.6 Макет интерфейса пользователя.....	41
Выводы.....	42
3 Разработка программного обеспечения	43
3.1 Выбор и обоснование технологий обработки информации.....	43
3.2 Организация процесса расчета МНР.....	46
3.3 Доступ к начальным данным и результатам расчета.....	47
3.4 Запись результатов.....	48
3.5 Пользовательский интерфейс.....	49
Выводы.....	51
4 Вычислительные эксперименты.....	51
4.1 Тестирование приложения.....	51
4.2 Применение к расчету МНР по ВЛ 500 кВ Братский ПП – Озерная....	58
Выводы.....	59
5 Финансовый менеджмент	61
6 Социальная ответственность.....	89
Заключение.....	103
Список используемой источников.....	104
Приложение А.....	105

Введение

Специалисту СЭР требуется около четырех часов на расчет МНР одного сетевого элемента. Расчет транзита из 15 элементов занимает неделю рабочего времени. В среднем подобные расчеты запрашиваются раз в три месяца.

Однотипность расчетов допускает возможность автоматизации средствами ПВК RastrWin3. Это существенно сократит время, необходимое для выполнения данной задачи.

Цель работы ВКР: программная реализация алгоритма определения максимальных нагрузочных режимов для отстройки дистанционной релейной защиты.

Задачи ВКР:

- Изучение методики выполнения расчетов по определению максимальных нагрузочных режимов.
- Разработка программного обеспечения, которое позволяет в автоматическом режиме выполнять расчёты максимальных нагрузочных режимов и формировать отчет по полученным результатам расчетов.
- Проверка работоспособности программного обеспечения путем сравнения результатов работы технолога и ПО.

Объектом исследования является методика расчетов максимальных нагрузочных режимов для отстройки релейной защиты.

Предметом исследования является приложение, реализующее алгоритм расчетов максимальных нагрузочных режимов для отстройки релейной защиты.

Практическая новизна: разработано программное обеспечение для расчетов максимальных нагрузочных режимов в целях отстройки релейной защиты, аналоги которого отсутствуют в настоящее время в Филиалах АО «СО ЕЭС».

Практическая значимость результатов ВКР: результаты, полученные при выполнении ВКР, могут быть использованы на практике при проведении расчетов МНР в филиалах АО «СО ЕЭС», для настройки дистанционной защиты.

1. Описание и анализ предметной области

1.1 Описание проблемы

Специалисту СЭР требуется около четырех часов на расчет МНР одного сетевого элемента, при условии, что сотрудник не занимается текущими заявками. Расчет транзита из 15 элементов занимает неделю рабочего времени. В среднем подобные расчеты запрашиваются раз в три месяца.

Однотипность расчетов допускает возможность автоматизации средствами ПВК RastrWin3. Это существенно сократит время, необходимое для выполнения данной задачи.

Результаты расчетов установившихся режимов используются в широком спектре задач, как для решения вопросов проектирования, так и в порядке текущей эксплуатации.

Примеры использования результатов расчетов установившихся режимов в различных вариациях: расчеты допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях, расчеты режимов для планирования и формирования графиков ремонтов, расчеты для формирования графиков напряжений в контрольных пунктах по напряжению, расчеты для выбора режимной настройки противоаварийной автоматики.

Также одним из часто используемых направлений применения результатов расчетов установившихся режимов и их частного случая максимальных нагрузочных режимов является процедура выбора уставок дистанционной защиты. При этом понятие максимальных нагрузочных режимов для распределительных электрических сетей ниже 110 кВ можно

воспринимать буквально и величины перетоков активной мощности по электросетевым элементам определяются в таких сетях величиной нагрузки. Для системообразующих сетей 220 – 500 кВ расчет максимальных нагрузочных режимов включает в себя также рассмотрение предельных по статической апериодической устойчивости режимов, что существенным образом усложняет задачу.

Согласно методическим указаниям [4] результаты расчетов максимальных нагрузочных режимов применяются для отстройки следующих защит:

- Дистанционная защита;
- Дифференциально-фазная защита линии электропередач;
- Направленная высокочастотная защита линии электропередач;
- Направленная и дифференциально-фазная высокочастотная защита линии электропередач;
- Дистанционная защита и токовая защита нулевой последовательности на электромеханической базе с высокочастотной блокировкой;
- Дифференциальная защита ЛЭП;
- Дифференциальная токовая защита шин, дифференциальная защита ошиновки;
- Поперечная дифференциальная направленная защита линии электропередач;
- Максимально токовая защита;
- Ступенчатые токовые защиты от несимметричных коротких замыканий.

Наибольший интерес для данной работы представляет выбор параметров срабатывания третьей ступени дистанционной защиты, так как именно в эту область могут попадать нагрузочные режимы.

Сопротивление срабатывания реле сопротивления третьей ступени определяется из условия отстройки от максимального тока нагрузки и минимального возможного в различных схемно-режимных ситуациях напряжения на шинах подстанции. Выдержка времени определяется аналогично второй ступени.

Значения параметров нагрузочных режимов для отстройки устройств РЗ от нагрузочных режимов работы энергосистем для ЛЭП, работающих в транзитном режиме и являющихся объектами диспетчеризации диспетчерских центров на практике определяются службами электрических режимов в соответствии с требованиями разделов 4 и 5 методических указаний по обеспечению отстройки устройств релейной защиты от нагрузочных режимов работы энергосистем [4] с использованием верифицированных расчетных моделей, которые должны соответствовать требованиям к созданию и актуализации расчетных моделей для расчетов установившихся режимов и статической устойчивости.

Согласно приведенным выше МУ, СРЗА служебной запиской запрашивает у СЭР значения параметров электроэнергетических режимов для отстройки устройств РЗ от нагрузочных режимов работы энергосистем в случаях:

- Ввода в работу новых или изменения либо уточнения параметров (характеристик) существующих ЛЭП, генерирующего или электросетевого оборудования.
- Вывода из эксплуатации ЛЭП, генерирующего или иного влияющего оборудования.
- Ввода в работу новых или модернизации существующих устройств РЗ.
- В иных случаях, требующих пересмотра решений по отстройке устройств РЗ от нагрузочных режимов работы энергосистем.

В настоящее время расчеты по определению максимальных нагрузочных режимов выполняются технологом без применения каких-либо

средств автоматизации. Специалист, рассчитав все необходимые режимы для одной схемно-режимной ситуации, повторяет подобные расчеты изменив состав включенных линий, либо изменив нагрузку по областям потребления.

Такие однотипные действия возможно автоматизировать.

После проведения расчетов СЭР служебной запиской направляет в СРЗА значения параметров электроэнергетических режимов для отстройки устройств РЗ от нагрузочных режимов работы энергосистем при изменении схемно-режимной и (или) режимно-балансовой ситуации, которое приводит к изменению значений параметров нагрузочных режимов работы энергосистем на 5 % и более.

Необходимость пересмотра максимальных нагрузочных режимов может также быть связана с увеличением\уменьшением нагрузки в энергорайоне, связанным с развитием района, существенным изменением состава нагрузки и что очень немаловажно – соотношения потребляемой нагрузкой активной и реактивной мощностей.

Для расчета установившихся режимов в современной российской энергетике применяется отечественный программно-вычислительный комплекс (ПВК) RastrWin3. Ниже приведено описание основного функционала ПВК, применяемого в АО «СО ЕЭС».

ПВК RastrWin3 был разработан ЗАО «Техсистем групп» для расчетов статической устойчивости энергосистем.

В ПВК RastrWin3 существует возможность доступа к расчётному ядру программы. Доступ к вычислительному ядру реализуется двумя вариантами: с помощью макростудии путём написания скриптов на VBScript, либо используя библиотеку ASTRALib (файл astra.dll) в разных средах разработки.

Первый вариант позволяет без особых усилий проводить многократные расчёты режима для решения прикладных задач.

Второй вариант позволяет использовать практически весь вычислительный аппарат ПК RastrWin3 в приложение, предназначенные не только для учебного пользования, но и для промышленного применения.

Встроенный макроязык на основе Visual Basic позволяет автоматизировать возможности RastrWin3 по расчету схемы, изменения схемы и отображения данных. Для вызова окна для работы с макросом необходимо в программном обеспечении RastrWin3 выполнить в главном меню команду "Расчет" – "Макро". Макросы пишутся на языке Visual Basic Script Edition (VBScript), который является подмножеством языка Visual Basic, разработанного фирмой Microsoft для использования в качестве языка сценариев выполнения, которое возможно встроить непосредственно в пользовательскую программу в качестве среды автоматизации.

Использование встроенного макроязыка отлично подходит для решения узких локальных задач отдельных специалистов, но не совсем применимо к созданию отдельных приложений.

Библиотека ASTRALib, имеющая COM-интерфейс, может использоваться во многих современных языках программирования, таких как C#, Python и др.

Использование библиотеки ASTRALib позволяет не только упростить создание специализированных программ, но и автоматизировать однотипные действия.

Библиотека ASTRALib.dll, которая устанавливается вместе с ПК RastrWin3, находится в локальном каталоге программы. При написании кода для выполнения расчётов необходимо подключить к проекту библиотеку ASTRALib.dll.

Как уже сказано выше, библиотека ASTRALib применима к созданию кода на языке C#. Именно поэтому для создания приложения предлагается рассмотреть интегрированную среду разработки программного обеспечения Microsoft Visual Studio.

Visual Studio включает в себя редактор исходного кода с поддержкой технологии IntelliSense и возможностью изменения внутренней структуры программы, не затрагивающий её внешнего поведения и имеющий целью облегчить понимание её работы.

Встроенный отладчик может работать как отладчик уровня исходного кода, так и отладчик машинного уровня. Остальные встраиваемые инструменты включают в себя редактор форм для упрощения создания графического интерфейса приложения, веб-редактор, дизайнер классов и дизайнер схемы базы данных.

Visual Studio позволяет создавать и подключать сторонние дополнения (плагины) для расширения функциональности практически на каждом уровне, включая добавление поддержки систем контроля версий исходного кода, добавление новых наборов инструментов для редактирования и визуального проектирования кода на предметно-ориентированных языках программирования или инструментов для прочих аспектов процесса разработки программного обеспечения.

Помимо C# .NET Visual Studio следующие языки программирования:

- Visual Basic .NET;
- Visual C++ .NET;
- Visual J# .NET;

Однако C# имеет ряд преимуществ в сравнении с конкурентами. Данный язык использует объектно-ориентированный подход к программированию.

Объектно-ориентированный подход позволяет строить с помощью C# крупные, но в то же время гибкие, масштабируемые и расширяемые приложения.

C# уже давно поддерживает много полезных функций:

- инкапсуляция,
- наследование,
- полиморфизм,

- перегрузка операторов,
- статическая типизация.

При этом он всё ещё активно развивается, и с каждой новой версией появляется всё больше возможностей.

В C# была унифицирована система типов, теперь появилась возможность рассматривать каждый тип как объект. Несмотря на то, используется ли класс, структура, массив или встроенный тип, возможно обращаться к нему как к объекту.

Объекты собраны в пространства имен (namespaces), которые позволяют программно обращаться к чему-либо. Это значит, что вместо списка включаемых файлов заголовков в своей программе разработчику достаточно написать какие пространства имен, для доступа к объектам и классам внутри них, будут использоваться.

В C# выражение `using` позволяет не писать каждый раз название пространства имен, когда используется класс из него. Например, пространство имен `System` содержит несколько классов, в том числе и `Console`. Разработчик может писать либо название пространства имен перед каждым обращением к классу, либо использовать `using` как это было описано выше.

Важной и отличительной от C++ особенностью C# является его простота. Даже если совершена опечатка, связанная с символами вызова метода, то компилятор всегда поправляет разработчика в случае ошибки.

Это говорит лишь о том, что в действительности можно обойтись только одним оператором, а компилятор сам будет распознавать его значение. Так в C#, оператор `"->"` используется очень ограничено, оператор `":: "` вообще не существует. Практически всегда вы используете только оператор `"."` и вам больше не нужно стоять перед выбором.

2 Проектирование программного обеспечения

2.1 Определение требований к программному обеспечению

Соответствие или несоответствие реализуемой системы множеству требований определяет успех или неудачу проекта. Требование – условие или характеристика, которой должна соответствовать система. Для определения требований к системе производится: сбор запросов заинтересованных сторон; определение бизнес-правил, относящихся к моделируемой предметной области.

Одним из главных требований к создаваемому программному обеспечению является возможность развертывания в любом филиале АО «СО ЕЭС» и выполнение возложенных на него функции, а именно автоматический расчет максимальных нагрузочных режимов. Кроме того, программное обеспечение должно быть совместим со всеми стандартными технологиями .NET, поставляемыми с операционными системами Windows.

Основные требования к функционалу ПО определяются задачей: максимально автоматизировать процесс расчета МНР с учетом требований руководящих указаний и стандартов.

Требования к функционалу ПК:

1. Обеспечить интерфейс по выбору сетевого элемента, для которого требуется рассчитать МНР.

2. Автоматически (или максимально автоматизировано) произвести расчет МНР для режимов:

- Предельный режим по статической устойчивости ($P_{\text{пред}}$);
- АДП или $0,92 * P_{\text{пред}}$;
- МДП + НК или $0,8 * P_{\text{пред}}$;
- Наибольшей АДТН СЭ, разрешенной на время 20 минут;
- Режим с минимальным перетоком активной мощности по СЭ;

- Режим одностороннего включенного состояния ЛЭП;
 - $P_{\text{пред}}$ с обратным направлением;
 - Режимы, характеризующиеся наибольшим углом нагрузки по СЭ
 - Для блоков ПК, в которых требуется ручное участие технолога, пользовательский функционал редакции и ввода данных.
3. Сформировать результаты расчетов в виде таблицы.
 4. Автоматический переход из координат P-Q в координаты R-X.
- Данные требования более подробно описаны в Приложении А.

2.2 Диаграмма вариантов использования

Для представления возможностей пользователя при работе с системой используется диаграмма вариантов использования (далее – диаграмма ВИ).

Диаграмма ВИ относится к концептуальному представлению системы, описывая назначение системы. Основная идея состоит в представлении системы посредством совокупности прецедентов (Use Cases) – сервисов, адресованных конкретным потребителям. Любую сущность, взаимодействующую с системой извне и являющуюся потребителем адресованного ей сервиса, называют актором (Actor).

Основным актором, взаимодействующим с программным модулем, выступает актер, названный «Технолог СЭР». Данный актер соответствует основному пользователю системы – специалисту-технологу службы электрических режимов, пользующемуся функциональными возможностями модуля, связанными с формированием набора параметров при моделировании предельного режима. В качестве второго актора выступает сама система, которая в качестве математического модуля для расчета УР использует ПК RastrWin3.

Далее представлены пользовательские истории, как способ описания требований к разрабатываемой системе, программного модуля:

1. Как специалист-технолог СЭР, пользователь может выбрать файлы с исходными данными для последующего расчета установившегося режима.

2. Как специалист-технолог СЭР, пользователь может выбрать объект сети, по которому выполняется расчет МНР.

3. Как специалист-технолог СЭР, пользователь может выбрать траекторию утяжеления.

4. Как специалист-технолог СЭР, пользователь может выбрать элементы сети, в которых будет изменяться $P_{\text{ген}}$ или $P_{\text{потр}}$.

5. Как специалист-технолог СЭР, пользователь может выбрать элементы сети, в которых будет изменяться $Q_{\text{ген}}$ или $Q_{\text{потр}}$.

6. Как специалист-технолог СЭР, пользователь может указывать величину изменения мощности на каждой итерации.

7. Как специалист-технолог СЭР, пользователь может получать протокол расчета режима.

8. Как специалист-технолог СЭР, пользователь может запустить расчет установившегося режима.

9. Как специалист-технолог СЭР, пользователь может получить результаты расчета УР.

10. Как специалист-технолог СЭР, пользователь может могу сохранить файлы.

11. Как специалист-технолог СЭР, пользователь может указывать отключение каких линий будет смоделировано.

В таблицах 1 – 9 представлено описание вариантов использования, составленные на основании пользовательских историй, которые представлены выше.

Таблица 1 – ВИ: Загрузить подготовленные файлы

Цель	Выбор предварительно подготовленных и сохраненных файлов режимов (*.rg2) и сценариев (*.ut2) для последующего расчета УР.
Актеры	специалист-технолог СЭР
Стейкхолдер	СЭР АО «СО ЕЭС»
Предварительные условия	Выполнен запуск приложения. Отсутствуют выбранные файлы. Расчет не выполняется.
Основной сценарий	1. Специалист-технолог СЭР инициировал выбор файла(ов); 2. Система предлагает выбрать необходимый файл(ы); 3. Специалист-технолог СЭР выбирает файл(ы); 4. Система загружает выбранный файл(ы) и отображает информацию о выбранном файле(ах).
Альтернативный сценарий	Предусловие: На шаге 4 основного сценария произошла ошибка, в связи с некорректным форматом выбранных файлов. 5. Система информирует пользователя об ошибке. Конец.

Таблица 2 – ВИ: Задать исследуемый объект

Цель	Выбрать элемент (номер ветви), данные по которому будут сохранены в таблице Excel (*.xlsx).
Актеры	специалист-технолог СЭР
Стейкхолдер	СЭР АО «СО ЕЭС»
Предварительные условия	Пользователь выбрал файл режимов (*.rg2), не инициировал расчет.
Основной сценарий	1. Специалист-технолог СЭР выполняет ввод объекта исследования (номер ветви); 2. Система фиксирует исследуемый элемент.

Таблица 3 – ВИ: Задать отключаемые объекты

Цель	Выбрать элементы, которые будут отключены в ходе расчетов.
Актеры	специалист-технолог СЭР
Стейкхолдер	СЭР АО «СО ЕЭС»
Предварительные условия	Пользователь выбрал файл режимов (*.rg2), не инициировал расчет.
Основной сценарий	1. Специалист-технолог СЭР выполняет ввод объекта исследования (номер ветви); 2. Система фиксирует исследуемый элемент.

Таблица 4 – ВИ: Задать объект для изменения P

Цель	Выбрать элемент (номер узла), в котором будет изменяться генерация или потребление активной мощности.
Актеры	специалист-технолог СЭР
Стейкхолдер	СЭР АО «СО ЕЭС»
Предварительные условия	Пользователь выбрал файл режимов (*.rg2), не инициировал расчет.
Основной сценарий	1. Специалист-технолог СЭР выполняет ввод объекта (номер узла); 2. Система фиксирует указанный элемент.

Таблица 5 – ВИ: Задать объект для изменения Q

Цель	Выбрать элемент (номер узла), в котором будет изменяться генерация или потребление реактивной мощности.
Актеры	специалист-технолог СЭР
Стейкхолдер	СЭР АО «СО ЕЭС»
Предварительные условия	Пользователь выбрал файл режимов (*.rg2), не инициировал расчет.
Основной сценарий	1. Специалист-технолог СЭР выполняет ввод объекта (номер узла); 2. Система фиксирует указанный элемент.

Таблица 6 – ВИ: Указать величину изменения мощности

Цель	Указать величину, на которую будет изменяться мощность при расчетах.
Актеры	специалист-технолог СЭР
Стейкхолдер	СЭР АО «СО ЕЭС»
Предварительные условия	Пользователь указал объект изменения мощности (номер узла), не инициировал расчет.
Основной сценарий	1. Специалист-технолог СЭР значение изменения мощности; 2. Система фиксирует указанное значение.

Таблица 7 – ВИ: Запустить расчет МНР

Цель	Запуск расчета МНР
Актеры	специалист-технолог СЭР, система
Стейкхолдер	СЭР АО «СО ЕЭС»
Предварительные условия	Пользователь выбрал файл режима (*.rg2). Пользователь указал траекторию утяжеления (*.ut2) либо указал объект изменения мощности (номер узла) и величину изменения. Пользователь указал исследуемый элемент и отключаемые элементы.
Основной сценарий	<ol style="list-style-type: none"> 1. Специалист-технолог СЭР инициирует расчет; 2. Система выполняет расчет. 3. Система предоставляет протокол расчета пользователю.
Альтернативный сценарий	<p>Предусловие: Пользователь не выбрал файл режима (*.rg2) или пользователь не указал исследуемый элемент</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Система сообщает о необходимости заполнить необходимые поля.

Таблица 8 – ВИ: Заполнить отчет в виде таблицы Excel (*.xlsx)

Цель	Зафиксировать параметры рассчитанных режимов.
Актеры	Система
Стейкхолдер	СЭР АО «СО ЕЭС»
Предварительные условия	Выполнен расчет установившегося режима.
Основной сценарий	<ol style="list-style-type: none"> 1. Система инициирует открытие таблицы Excel (*.xlsx); 2. Система переносит необходимые параметры режима в таблицу.

Таблица 9 – ВИ: Сохранить файлы режимов и отчет

Цель	Сохранение файлов режимов (*.rg2) и отчета (*.xlsx)
Актеры	Система
Стейкхолдер	СЭР АО «СО ЕЭС»
Предварительные условия	Выполнены ВИ «Запустить расчет МНР».
Активаторы	Система завершила расчет.
Основной сценарий	<ol style="list-style-type: none"> 1. Система предлагает сохранить файлы; 2. Специалист-технолог СЭР выбирает путь для сохранения файлов; 3. Система сообщает, что файлы сохранены.
Альтернативный сценарий	<p>На шаге 2 пользователь отменяет сохранение файлов.</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Система сообщает, что файлы не будут сохранены. Конец.

Диаграмма вариантов использования представлена на рисунке 2.

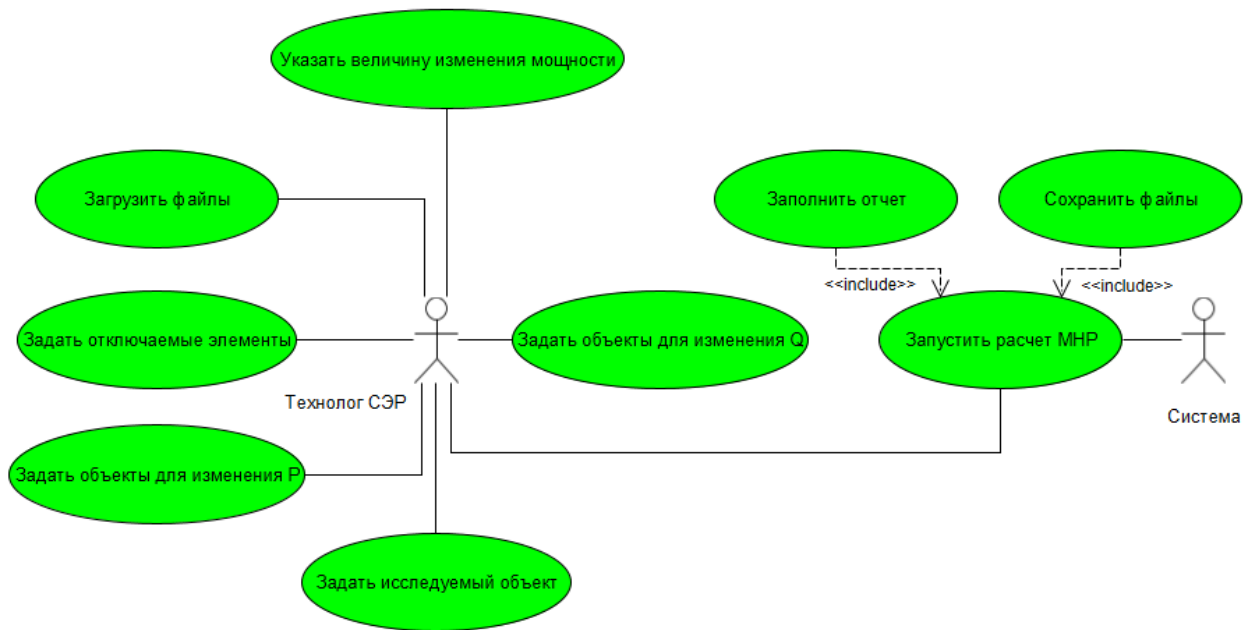


Рисунок 2 – Диаграмма вариантов использования

2.3 Диаграмма деятельности

Под деятельностью понимается спецификация исполняемого поведения в виде координированного последовательного и параллельного выполнения подчинённых элементов — вложенных видов деятельности и отдельных действий, соединённых между собой потоками, которые идут от выходов одного узла ко входам другого.

Диаграммы деятельности используются при моделировании бизнес-процессов, технологических процессов, последовательных и параллельных вычислений.

Диаграммы деятельности состоят из ограниченного количества фигур, соединённых стрелками. Основные фигуры:

1. Прямоугольники — действия;
2. Ромбы — решения;
3. Широкие полосы — начало (разветвление) и окончание (схождение) ветвления действий;

4. Чёрный круг — начало процесса (начальный узел);
5. Чёрный круг с обводкой — окончание процесса (финальный узел).

Стрелки идут от начала к концу процесса и показывают потоки управления или потоки объектов (данных).

Как было сказано ранее, основной целью разрабатываемого приложения является автоматический расчет максимальных нагрузочных режимов. Для достижения данной цели разработан алгоритм, представленный в виде диаграммы деятельности, которая описывает последовательность основных действий приложения (рисунок 3).

На диаграмме указаны режимы, которые необходимо рассмотреть согласно методическим указаниям. В качестве исходного режима предполагается использовать час контрольного замера. Этот выбор осуществляется технологом, опираясь на особенность исследуемого элемента. Автоматизация такого действия не предусматривается.

Зеленым цветом указаны блоки, выполнение действия которых предполагается возложить на технолога. По причине уникальности каждого сетевого элемента и множества вариантов утяжеления режима, принято решение разработать примерный план действий для технолога. Данный план представлен на рисунке 4.

Иными словами, предлагается автоматизировать расчеты после ручного определения предельного режима.

В разделе «Руководство пользователя» подробно описывается алгоритм действий в каждом блоке.

На рисунке 4 представлен алгоритм действий для получения предельного перетока по сетевому элементу. Синим цветом указаны блоки, показывающие порядок действий в случае, если у технолога есть опыт расчета режимов по рассматриваемому СЭ и создана траектория утяжеления. Иначе технолог действует по плану, который указан зеленым цветом.

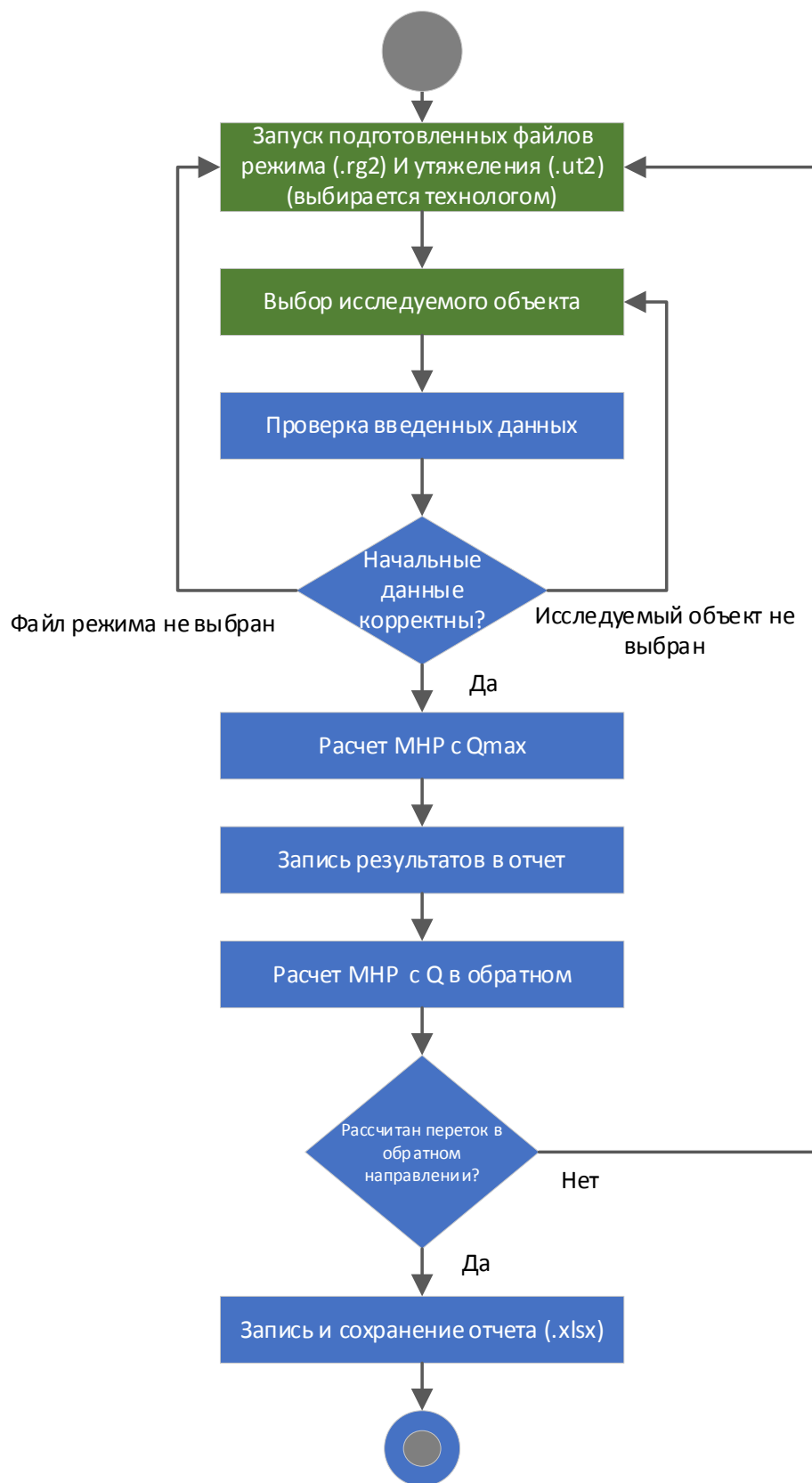


Рисунок 3 – Диаграмма деятельности

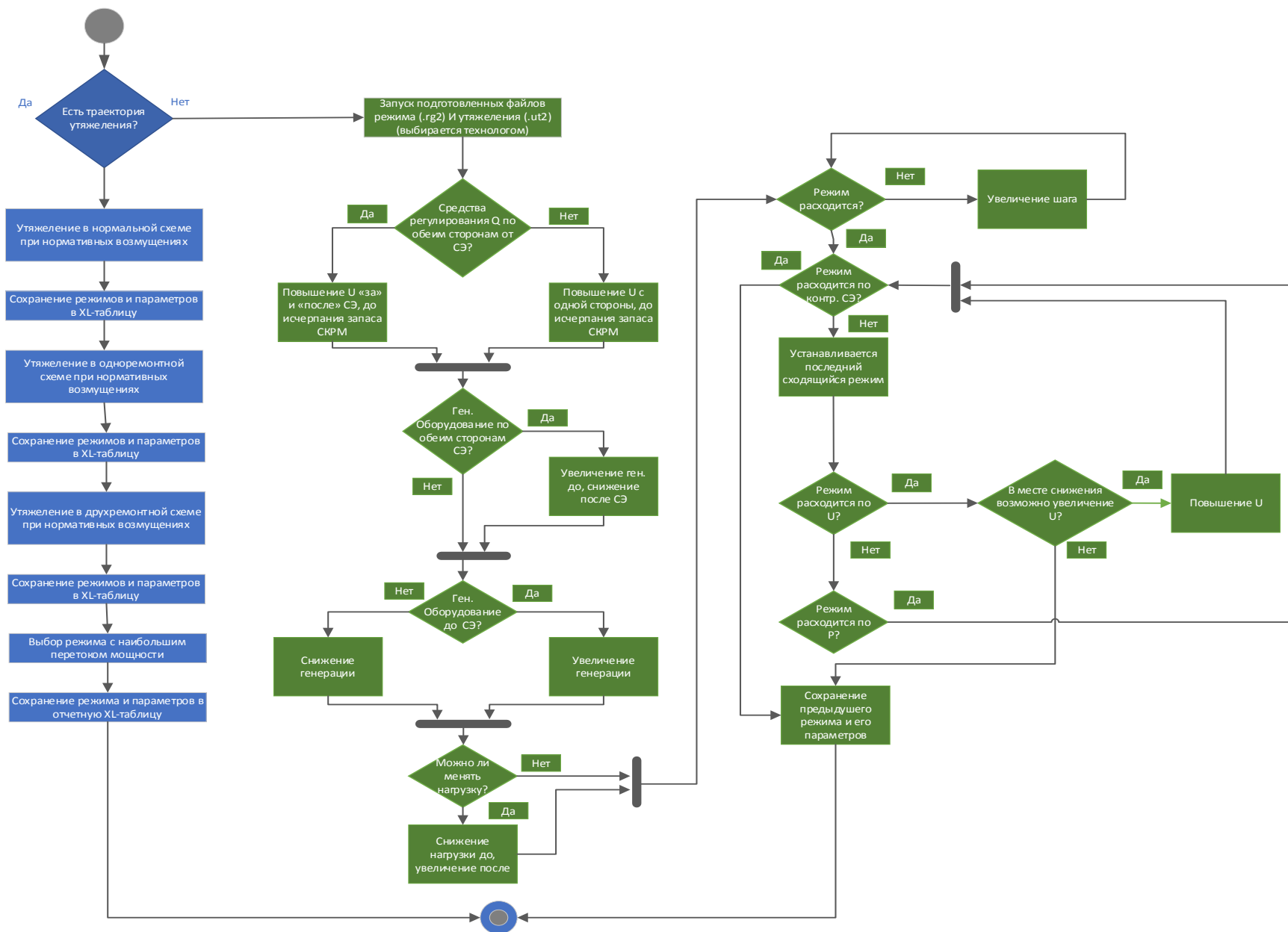


Рисунок 4 – Действия при определении предельного режима

2.4 Диаграмма взаимодействия

Для моделирования взаимодействия объектов приложения в языке UML используются соответствующие диаграммы взаимодействия. Взаимодействия объектов можно рассматривать во времени. Для представления временных особенностей передачи и приема сообщений между объектами используется диаграмма последовательности. Для описания структурных особенностей взаимодействия объектов используется диаграмма кооперации.

Взаимодействие объектов в процессе функционирования модуля представлено в основном диаграммами последовательности, отражающими динамику взаимодействия объектов во времени.

На рисунке 5 представлена диаграмма последовательности для варианта использования «Запустить расчет МНР». Предварительно необходимо загрузить подготовленные файлы. Далее производится расчет МНР. На основании проведенного расчета. Результаты расчетов будут отображены в таблице Excel.

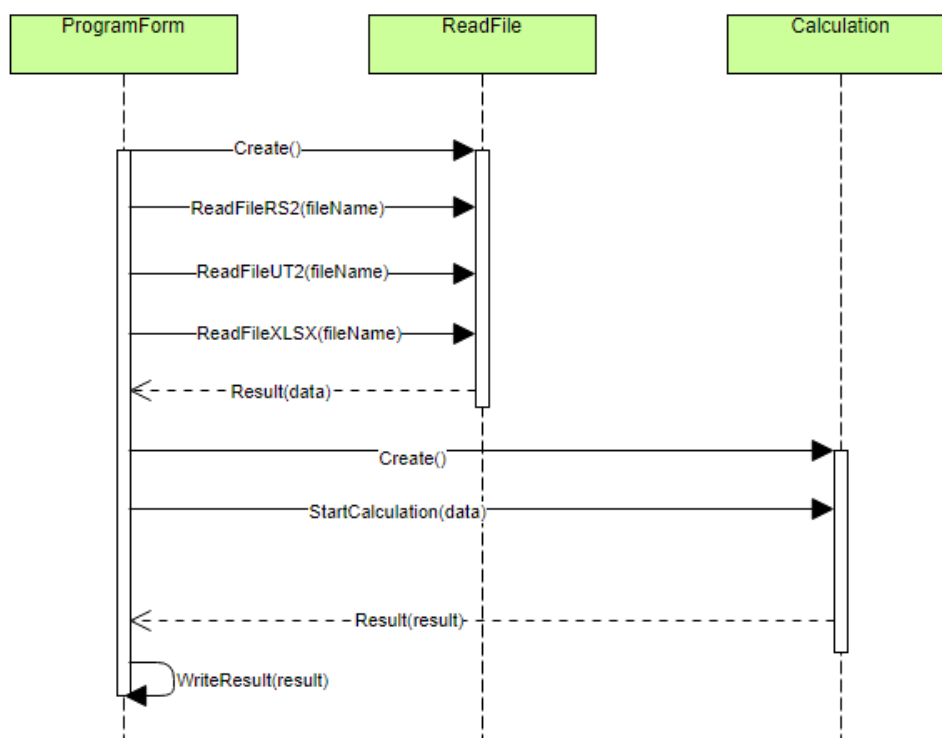


Рисунок 5 – Диаграмма последовательности

На рисунке 6 представлена диаграмма последовательности для варианта использования «Записать данные в отчет». Предварительно производится расчет параметров МНР. Рассчитанные параметры записываются в Excel файл. Пользователь получает сообщение о записи данных в ПО.

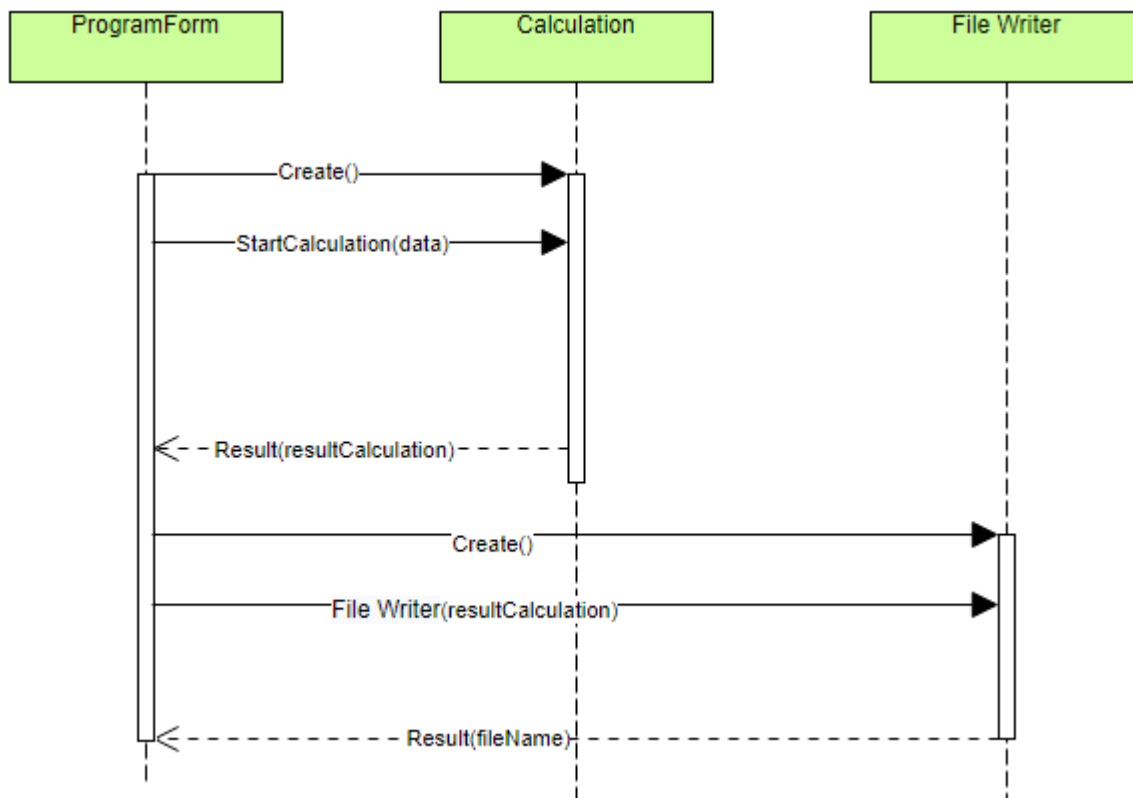


Рисунок 6 – Диаграмма последовательности

2.5 Архитектура модуля

Архитектура модуля, позволяющего автоматически выполнять расчет максимальных нагрузочных режимов для отстройки релейной защиты, является однозвенной и включает в себя клиентское приложение «Windows Forms».

Клиентское приложение – интерфейсный компонент, приложение для конечного пользователя, которое обеспечивает взаимодействие пользователя с программным модулем посредством экранных форм Windows Forms. В

приложении реализованы проверки на корректность данных, вводимых пользователями в поля экранных форм. Вся работа с данными выполняется внутри клиентского приложения. Кроме того, обеспечивается внутреннее хранение данных с помощью специальных файлов, создаваемых в процессе работы программы.

Все рассмотренные ранее диаграммы отражали концептуальные аспекты построения модели системы и относились к логическому уровню представления. Особенность логического представления заключается в том, что оно оперирует понятиями, которые не имеют самостоятельного материального воплощения. Другими словами, различные элементы логического представления, такие как классы, ассоциации, состояния, сообщения, не существуют материально или физически. Они лишь отражают понимание структуры физической системы или аспекты ее поведения. Основное назначение логического представления состоит в анализе структурных и функциональных отношений между элементами модели системы. Однако для создания конкретной физической системы необходимо, некоторым образом, реализовать все элементы логического представления в конкретные материальные сущности. Для описания таких реальных сущностей предназначен другой аспект модельного представления, а именно физическое представление модели.

На рисунке 7 представлена диаграмма компонентов разрабатываемого программного модуля. Диаграмма компонентов описывает особенности физического представления системы и позволяет определить архитектуру разрабатываемой системы, установив зависимости между программными компонентами, в роли которых может выступать исходный, бинарный и исполняемый код.

Диаграмма компонентов разрабатывается для следующих целей:

- визуализации общей структуры исходного кода программной системы;
- спецификации исполнимого варианта программной системы;
- обеспечения многократного использования отдельных фрагментов программного кода;

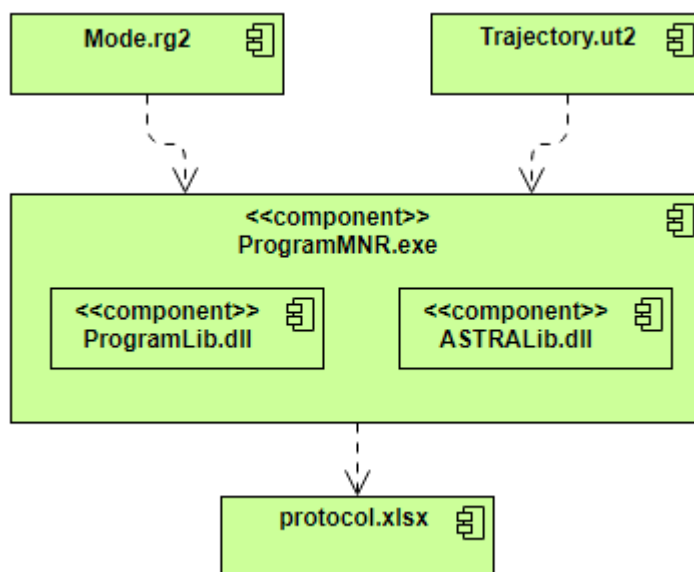


Рисунок 7 – Диаграмма компонентов

В таблице 10 приведено краткое описание компонентов архитектуры разрабатываемой системы.

Таблица 10 – Описание компонентов архитектуры программного модуля

Компонент	Описание
ProgramLib.dll	Библиотека классов, в которой содержатся методы и элементы разрабатываемого приложения.
ASTRALib.dll	Библиотека, которая предоставляет доступ к вычислительному ядру ПК RastrWin3.
Model.rg2	Файлы режимов (*.rg2), хранят данные для расчета установившегося режима. Создаются заранее в ПК RastrWin3.
Trajectory.ut2	Файлы траектории утяжеления (*.ut2), которые хранят данные величине изменения P и Q. Создаются заранее в ПК RastrWin3.
protocol.xlsx	Файл Excel таблицы. Применяется для перехода из P-Q в R-X координаты и сохранения итогового отчета.

2.6 Диаграмма классов

UML – унифицированный язык моделирования (Unified Modeling Language) – это система обозначений, которую можно применять для объектно-ориентированного анализа и проектирования. Его можно использовать для визуализации, спецификации, конструирования и документирования программных систем.

Словарь UML включает три вида строительных блоков: Диаграммы, Сущности, Связи.

Диаграммы классов показывают набор классов, интерфейсов, а также их связи. Диаграммы этого вида чаще всего используются для моделирования объектно-ориентированных систем. Они предназначены для статического представления системы.

Большинство элементов UML имеют уникальную и прямую графическую нотацию, которая дает визуальное представление наиболее важных аспектов элемента.

На рисунке 8 изображена диаграмма классов разрабатываемого приложения.

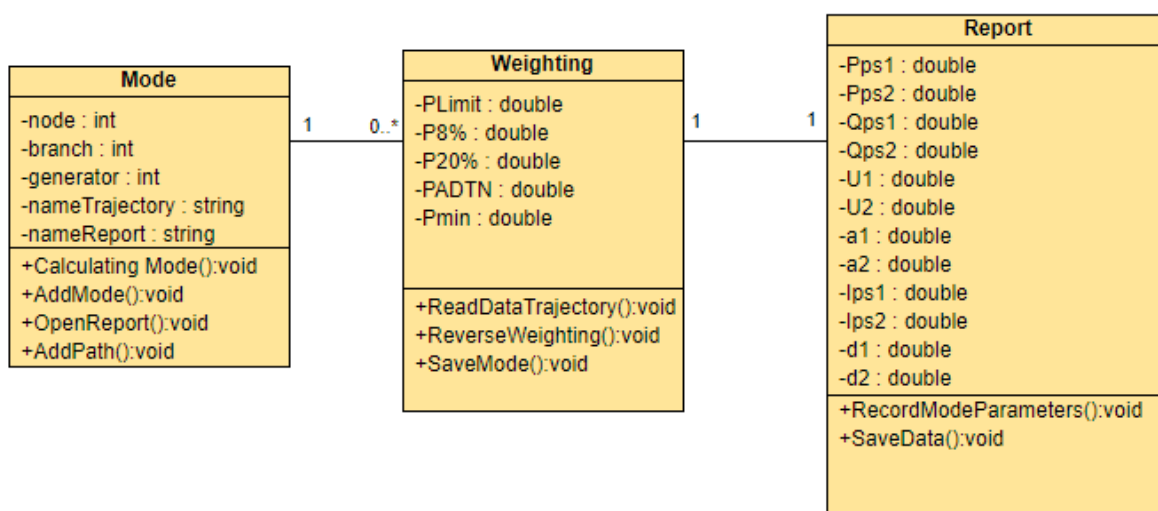


Рисунок 8 – Диаграмма классов

Таблица 11 – Свойства и методы класса «Generator»

Свойство и методы	Описание
Generator()	Конструктор генератора
Generator(string, int, double, double)	Конструктор генератора в энергосистеме
GetGeneratorRastr(Rastr):List<Generator>	Получить рассчитанные параметры генератора
SetGeneratorRastr(Rastr) :List<Generator>	Записать параметры в модель генератора
Name()	Название генератора
Number()	Номер генераторного узла
Pgen()	Генерация активной мощности
Vzd()	Заданное напряжение генератора

Таблица 12 – Свойства и методы класса «Node»

Свойство и методы	Описание
Node()	Конструктор узла
Node(string, int, double, double, double, double, double, double,)	Конструктор узла в энергосистеме
Get NodeRastr(Rastr):List<Node>	Получить рассчитанные параметры в узле
Set NodeRastr(Rastr) :List<Node>	Записать параметры в модель узла
Name()	Название узла
Number()	Номер узла
Pn()	Активная мощность нагрузки
Qn()	Реактивная мощность нагрузки
Vras()	Расчетное напряжение
Delta()	Угол напряжения
Vzd()	Заданное напряжение

Таблица 12 – Свойства и методы класса «Brabch»

Свойство и методы	Описание
Brabch()	Конструктор ветви
Brabch (string, int, int, int, int, double, double, double, double, double,)	Конструктор ветви в энергосистеме
GetBrabch Rastr(Rastr):List<Node>	Получить рассчитанные параметры по ветви
SetBrabch Rastr(Rastr) :List<Node>	Записать параметры в модель ветви
Name()	Название ветви
Number()	Номер ветви
Sta()	Статус ветви (отключена, отключена в начале, отключена в конце, включена)
Ib()	Номер узла начала ветви
Ie()	Номер узла конца ветви
Pl_ip()	Переток активной мощности в начале ветви

$P_{l_{iq}}()$	Переток активной мощности в конце ветви
$Q_{l_{ip}}()$	Переток реактивной мощности в начале ветви
$Q_{l_{iq}}()$	Переток реактивной мощности в конце ветви

2.7 Макет интерфейса пользователя

Проектирование интерфейсов пользователя является важной составной частью процесса разработки программного обеспечения. На рисунке 9 представлен интерфейс пользователя разрабатываемой системы, которая анализирует расчет МНР. Интерфейс пользователя представляет собой главное окно настольного приложения для ОС Windows.

В качестве инструмента для создания прототипов GUI была использована программа «Pencil», которая содержит различные встроенные коллекции фигур для рисования различных типов пользовательского интерфейса, от настольных до мобильных платформ.

Элементы главного окна ПО позволяют реализовать:

- Ввод номер узла начала и конца объекта исследования (ветви);
- Выбор параметров утяжеления режима;
- Выбор файлов режима и траектории;
- Указание отключаемых элементов.
- Запуск и отмена расчета.
- Сохранение результатов.

Расчет МНР

Выбранный режим: Выбранная траектория:

Исследуемый элемент

Начало ветви: Конец ветви:

Диспетчерское название:

Отключаемые элементы

Изменение Q

№ узла	Qг	Qн	Шаг
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5
4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6
5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-7

Изменение P

№ узла	Pг	Pн	Шаг
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5
4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6
5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-7

Рисунок 9 – Интерфейс пользователя

Выводы

Во втором разделе рассмотрены вопросы проектирования программного обеспечения. На основании представленных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Определены функциональные и нефункциональные требования к ПО. Основными требованиями, предъявляемыми к ПО, являются возможность развертывания ПО в любом из филиалов АО «СО ЕЭС» и выполнение функций расчета МНР. Более подробно требования к разработанному приложению описаны в техническом задании, расположенном в Приложение А.

3. Разработана диаграмма вариантов использования на основании пользовательских историй. Основным актором, взаимодействующий с приложением, является специалист СЭР, который представляет собой сотрудника службы электрических режимов филиала АО «СО ЕЭС».

4. В соответствии с выполняемым разрабатываемым ПО бизнес-процессом разработана диаграмма деятельности, которая описывает основные действия ПО.

5. Спроектирована и описана диаграмма последовательности, которая позволяет увидеть временные особенности передачи и приема сообщений между объектами ПО.

6. По проекту архитектура разрабатываемого ПО является однозвенной и включает в себя клиентское приложение «Windows Forms». Для визуализации общей структуры программного кода была спроектирована диаграмма компонентов, которая описывает особенности физического представления ПО.

7. Разработаны макеты графических интерфейсов. Главное окно ПО позволяет ввести исходные данные, запустить расчет МНР и сохранить отчет. В качестве инструмента разработки использована программа для создания прототипа графического интерфейса пользователя «Pencil».

3 Разработка программного обеспечения

3.1 Выбор и обоснование технологий обработки информации

Перед выбором языка программирования рассмотрим три наиболее известных и проанализируем применимость каждого к выполнению поставленных задач. Современные разработчики чаще всего используют такие языки как: C#, Visual Basic, Java.

C# – объектно-ориентированный язык, обладающий безопасностью типов. C# позволяет создавать разработчикам множество различных приложений, функционирующих на платформе .NET.

Язык C# обладает богатым синтаксисом, однако сам язык является простым и удобным в изучении. C# активно развивается и предоставляет пользователям такие мощные функции как типы, допускающие значения null, делегаты, лямбда-выражения, прямой и безопасный доступ к памяти. Также C# поддерживает универсальные методы и типы, которые обеспечивают повышенную безопасность типов и производительность.

Инкапсуляция, наследование и полиморфизм доступны при использовании C#, потому что данный язык программирования является объектно-ориентированным.

Кроме того, C# предоставляет пользователям такие языковые конструкции как:

- инкапсулированные сигнатуры методов, называемые делегатами, позволяющие реализовать безопасные уведомления о событиях;
- свойства, которые позволяют обращаться к закрытым членам класса;
- атрибуты, которые предоставляют метаданные о типах во время выполнения программы;
- различные комментарии для XML-документирования;
- язык запросов LINQ, позволяющий создавать запросы к различным типам источников данных.

Microsoft Visual Basic — язык программирования, а также интегрированная среда разработки программного обеспечения, разрабатываемые корпорацией Microsoft. Язык Visual Basic унаследовал синтаксис своего предка — языка BASIC, у которого есть немало диалектов. В то же время Visual Basic сочетает в себе процедуры и элементы объектно-ориентированных и компонентно-ориентированных языков программирования.

Интегрированная среда разработки VB включает инструменты для визуального проектирования пользовательского интерфейса, редактор кода с

возможностью IntelliSense и подсветкой синтаксиса, а также инструменты для отладки приложений.

Visual Basic также является хорошим средством быстрой разработки (RAD) приложений баз данных для операционных систем семейства Microsoft Windows. Множество готовых компонентов, поставляемых вместе со средой, призваны помочь программисту сразу же начать разрабатывать бизнес-логику приложения, не отвлекая его внимание на написание кода запуска программы, подписки на события и других механизмов, которые VB реализует автоматически.

Достоинства Visual Basic:

- Высокая скорость создания приложений с графическим интерфейсом для Microsoft Windows.
- Простой синтаксис языка обеспечивает низкий порог вхождения.
- Возможность компиляции как в машинный код, так и в Р-код (по выбору программиста).
- Безопасность типов обеспечивает защита от ошибок, связанных с применением указателей и доступом к памяти. Этот аспект делает Visual Basic приложения более стабильными, но также является объектом критики.

Главным недостатком Visual Basic является отсутствие полноценного механизма наследования реализации объектов. Существующее в языке наследование позволяет наследовать только интерфейсы, но не их реализацию.

Java – объектно-ориентированный, с сильной типизацией язык программирования. Это язык программирования общего назначения. При этом ПО, написанное на Java, может запускаться на любой платформе, если на ней установлена среда исполнения Java (Java Runtime Environment).

Синтаксис языка Java во многом похож на синтаксис других С-подобных языков программирования, таких как C, C++, C#.

Java используется в разработке настольных, мобильных, веб-приложений, а также игр.

Принимая во внимание, что разрабатываемое приложение «Расчет МНР» задумывалось как настольное приложение и имеется опыт работы с языком С#, был выбран для дальнейшего использования язык программирования С#. Данный язык основан на методологии объектно-ориентированного программирования, основанной на представлении программы в виде совокупности объектов, каждый из которых является экземпляром определённого класса, а классы образуют иерархию наследования.

Для разработки приложения выбрана технология .NET Framework. Выбор связан с тем, что одно из главных требований к разрабатываемому приложению – возможность развертывания в любом филиале АО «СО ЕЭС», а значит совместимость со всеми стандартными технологиями .NET, поставляемыми с операционными системами Windows. .NET Framework – это интегрированный компонент Windows, который поддерживает создание и выполнение приложений и web-служб.

Платформа .NET Framework предоставляет возможность:

1. Обеспечения согласованной объектно-ориентированной среды программирования для локального сохранения и выполнения объектного кода, для локального выполнения кода, распределенного в Интернете, либо для удаленного выполнения.
2. Обеспечение среды выполнения кода, минимизирующей конфликты при развертывании программного обеспечения и управлении версиями.

3. Обеспечение среды выполнения кода, гарантирующей безопасное выполнение кода, включая код, созданный неизвестным или не полностью доверенным сторонним изготовителем.

4. Обеспечение среды выполнения кода, исключающей проблемы с производительностью сред выполнения сценариев или интерпретируемого кода.

5. Обеспечение единых принципов работы разработчиков для разных типов приложений, таких как приложения Windows и web-приложения.

6. Разработка взаимодействия на основе промышленных стандартов, которое обеспечит интеграцию кода платформы .NET Framework с любым другим кодом.

Интерфейс ПО было принято реализовывать по технологии Windows Forms (WinForms).

Windows Forms — интерфейс программирования приложений (API), отвечающий за графический интерфейс пользователя и являющийся частью Microsoft .NET Framework. Данный интерфейс упрощает доступ к элементам интерфейса Microsoft Windows за счет создания обёртки для существующего Win32 API в управляемом коде.

При разработке была определена необходимость в реализации следующих форм:

1. Главное окно, которое предоставляет быстрый доступ для задания исходных данных и запуска, а именно:

- ввод номера узла начала и конца объекта исследования (ветви);
- выбор параметров утяжеления режима;
- выбор файлов режима и траектории;
- указание отключаемых элементов;
- запуск и отмена расчета;

– сохранение результатов;

Результаты расчетов предполагается переносить в заранее созданный шаблон таблицы Excel, в котором будет выполняться автоматический перевод параметров из P-Q в R-X координаты и графическое отображение полученных координат.

Исходя из выбора языка программирования и технология .NET Framework выберем среду разработки, рассмотрев две крупные среды разработки для платформы .NET: Microsoft Visual Studio и NetBeans.

NetBeans IDE — свободная интегрированная среда разработки приложений (IDE) на языках программирования Java, Python, PHP, JavaScript, C, C++, C#.

Среды разработки и критерии отбора приведены в таблице 11.

Таблица 11. Параметры выбора среды разработки

Параметр	Среда разработки	
	Microsoft Visual Studio	NetBeans
Наличие опыта работы со средой разработки	+	-
Наличие бесплатно распространяемой редакции	+	+
Наличие документации и поддержки сообщества	+	+
Возможность интеграции с системой управления версиями (например, Git)	+	+

С учетом того, что имеется опыт работы со средой разработки Microsoft Visual Studio, в качестве интегрированной среды разработки был выбран продукт Microsoft Visual Studio version 16.8.4, который широко применяется во всем мире для разработки Windows-приложений.

3.2 Организация процесса расчета МНР

Для использования математического модуля ПВК «RastrWin3» необходимо подключить библиотеку `ASTRALib.dll`, которая устанавливается вместе с ПВК «RastrWin3» и находится в локальном каталоге программы.

Для добавления библиотеки необходимо добавить ссылку на библиотеку и подключить пространства имен:

```
using ASTRALib;
```

После этого следует выполнить генерацию указателя на экземпляр `RastrWin`, а также инициировать запуск данного экземпляра:

```
ASTRALib.IRastr Rastr = new ASTRALib.Rastr();
```

Метод `Load()` используется для загрузки файлов режима (.rg2). Для этого необходимо вторым параметром указать путь к открываемому файлу.

Пример кода:

```
string PathFile = "C:/Режим.rg2";  
Rastr.Load(ASTRALib.RG_KOD.RG_REPL, PathFile, "");
```

Для запуска расчета установившегося режима существует метод `rgm ""`. В кавычках указывается дополнительные параметры. Существуют такие параметры:

"" – с параметрами по умолчанию;

"p" – расчет с плоского старта;

"z" – отключение стартового алгоритма;

"c" – отключение контроля данных;

"r" – отключение подготовки данных (можно использовать при повторном расчете режима с измененными значениями узловых мощностей и модулей напряжения).

Пример кода для запуска расчета:

```
Rastr.rgm("");
```

Для определения сходимости режима, то есть проверки правильности проведения расчетов вызывается таблица значений контролируемых величин,

в которой контролируется параметр status. Иными словами, этот параметр можно назвать «код ошибки». Если status равен нулю, то режим сходится и расчет выполнен корректно, если же status=1, то значит режим не сбалансирован и расчет не выполнен.

Пример метода, который выполняет расчет режима и возвращает «код ошибки»:

```
/// <summary>
/// Расчёт установившегося режима
/// </summary>
/// <returns>Возвращает: true - успешный расчёт, false - аварийная
остановка расчёта</returns>
bool calcRegim(ASTRALib.IRastr inRastr)
{
    ASTRALib.ITable ParamRgm = inRastr.Tables.Item("com_regim");
    ASTRALib.ICol statusRgm = ParamRgm.Cols.Item("status");
    inRastr.rgm("");
    int a = statusRgm.get_ZN(0);
    if (a == 0)
        return true;
    else
        return false;
}
```

3.3 Доступ к начальным данным и результатам расчета

В процессе расчета установившегося режима ПК «RastrWin3» записывает результаты в файлы *.rg2. Доступ к результатам организован по именам таблиц и названиям столбцов. Объект расчетной модели, для которого требуется получить результат, задается индексом в базе данных ПК «RastrWin3».

Доступ к результатам расчета предоставляется путем обращения непосредственно к нужной ячейке, объявив перед этим все необходимые параметры.

```
//Объявление объекта, содержащего таблицу "Ветви"
ASTRALib.ITable Branch = Rastr.Tables.Item("vetv");
//Создание объектов, содержащих информацию по каждой колонке
ASTRALib.ICol powerActiveLineStart = Branch.Cols.Item("pl_ip");
```



```

ASTRALib.ICol powerActiveLineEnd = Branch.Cols.Item("pl_iq");
ASTRALib.ICol powerReactiveLineStart = Branch.Cols.Item("ql_ip");
ASTRALib.ICol powerReactiveLineEnd = Branch.Cols.Item("ql_iq");

```

Для того чтобы прочитать параметр из советуемой колонки необходимо вызвать метод `get_ZN()`, а для записи какого-либо параметра в нужную таблицу выполняется вызов метода `set_ZN()`.

3.4 Запись результатов

В соответствии с ТЗ необходимо записывать результаты анализа расчета максимально нагрузочных режимов в файлы Excel и выполнять дальнейшую работу по переходу из P-Q в R-X координаты. Для создания файлов Excel, записи в них результатов, а также графического отображения точек использовалась библиотека `Microsoft.Office.Interop.Excel`.

Подключение пространства имен:

```
using Excel = Microsoft.Office.Interop.Excel;
```

Приложение Excel (объект `Application`) может содержать одну или более книг, ссылки на которые содержит свойство `Workbooks`. Книги (объекты `Workbook`) могут содержать одну или более страниц (свойство `Worksheets`) или (и) диаграмм (свойство `Charts`). Страницы содержат объекты ячейки или группы ячеек. Аналогично и для диаграмм.

Пример кода для создания книги, страницы и записи данных:

```

Excel.Application app = new Excel.Application();
Excel.Workbook workbook = app.Workbooks.Add();
Excel.Worksheet worksheet1 = (Excel.Worksheet)workbook.Worksheets.
Item[1];
worksheet1.Name = "Результат расчета";
worksheet1.Cells[1, 1] = calcResult.ResultMessage;
worksheet1.Cells[2, 1] = calcResult.AdditionalInformation;

```

Пример кода для сохранения параметров режима в таблицу:

```

//Параметры ПС1
ex.ActiveSheet.Cells[nNam1, Nam] = name.Z[numberNode1];
ex.ActiveSheet.Cells[nNam1, nNod] = ny.Z[numberNode1];
ex.ActiveSheet.Cells[nU1, U] = voltageCalc.Z[numberNode1];

```

```
ex.ActiveSheet.Cells[nDelta1, delta] = deltaV.Z[numberNode1];  
ex.ActiveSheet.Cells[nP1, P] = powerActiveLineStart.Z[numberBranch];  
ex.ActiveSheet.Cells[nQ1, Q] = powerReactiveLineStart.Z[numberBranch];  
ex.ActiveSheet.Cells[nI1, I] = currentStart.Z[numberNode1];
```

3.5 Руководство пользователя

3.5.1 Введение

В настоящее время специалисты службы электрических режимов при проведении расчетов максимальных нагрузочных режимов выполняют моделирование всех необходимых режимов в ручном режиме, используя ПВК «RastrWin3». Однако однотипность расчетов допускает возможность автоматизации средствами RastrWin3. Это существенно сократит время, необходимое для выполнения данной задачи.

Приложение «Расчет МНР» выполняет задачу расчета максимально нагрузочных режимов и перевод параметров режима из P-Q в R-X координаты для дальнейшей настройки релейной защиты, путем выполнения процедуры обратного утяжеления и моделирования двух характерных перетоков реактивной мощности согласно «Методическим указаниям по обеспечению отстройки устройств релейной защиты от нагрузочных режимов работы энергосистем».

Приложение «Расчет МНР» предназначено для использования специалистами службы электрических режимов филиалов АО «СО ЕЭС».

Данное приложение позволяет пользователю:

1. Автоматически выполнять расчеты максимальных нагрузочных режимов с определением двух характерных перетоков реактивной мощности;
2. Указывать несколько схемно-режимных ситуаций для одной траектории расчетов;
3. Сохранять параметры полученных режимов в Excel в виде готового отчета;
4. Выполнять перевод параметров режима из P-Q в R-X координаты и графически отображать полученные точки.

3.5.2 Условия применения

Требования к техническим характеристикам персонального компьютера пользователя приложением:

1. Процессор с тактовой частотой не менее 2 ГГц;
2. Количество ядер процессора не менее 2;
3. Объем свободной оперативной памяти не менее 2 Гб;
4. Объем свободного места на жестком диске не менее 2 Гб.

Для обеспечения возможности работы с приложением на рабочем ПК пользователя должно быть установлено следующее программное обеспечение:

- 1) ОС Windows 10 или совместимая;
- 2) платформа .NET Framework 4.6;
- 3) Microsoft Excel;
- 3) ПВК RastrWin3 (с лицензией сотрудника АО «СО ЕЭС»).

Пользователи приложения «Расчет МНР» в обязательном порядке должны быть ознакомлены с настоящим Руководством. А также с «Методическими указаниями по обеспечению отстройки устройств релейной защиты от нагрузочных режимов работы энергосистем».

3.5.3 Работа с приложением «Расчет МНР»

Перед использованием данного приложения пользователю необходимо убедиться в наличии лицензии для ПВК «RastrWin3», в противном случае математический аппарат будет не доступен для выполнения расчетов.

Пользователь заранее подготавливает файл с предельным режимом (.rg2) и траекторию утяжеления (.ut2).

Запуск приложения «Расчет МНР» осуществляется путем запуска исполняемого файла программы «RaschetMNR.exe».

При запуске программы пользователь получает доступ к главному окну с двумя вкладками, которые позволяют работать с исходными данными,

запускать расчет МНР, открывать сформированный файл отчета после выполнения расчета всех режимов.

На вкладке «Параметры расчета» пользователь имеет возможность загружать исходный режим, траекторию утяжеления, указывать исследуемый элемент, указать отключаемые элементы, запустить расчет, сохранить отчет

На рисунке 10 представлен внешний вид вкладки «Параметры расчета».

Расчет МНР

Параметры расчета | Параметры утяжеления

Выбранный режим:

Выбранная траектория:

Исследуемый элемент

Номер узла начала ветви: Номер ветви:

Номер узла конца ветви:

Диспетчерское название:

Отключаемый элементы

	Номер ветви	Узел начала	Узел конца	Диспетчерское название
*				

Рисунок 10 – Главное окно

Вкладка «Параметры утяжеления» предназначена для определения узлов, в которых будут изменяться параметры для обратного утяжеления.

На рисунке 11 представлен внешний вид вкладки «Параметры утяжеления».



Рисунок 11 – Главное окно

В таблице 11 представлены элементы управления главного окна.

Таблица 12 – Элементы управления главного окна

№	Элемент управления	Описание	
1.	Исследуемый элемент	Контейнер для группировки информации об исходных данных для объекта исследования	
	1.	Номер узла начала ветви	Поле ввода номера начала ветви (целое число)
	2.	Номер узла конца ветви	Поле ввода номера начала ветви (целое число)
	3.	Номер ветви	Поле ввода номера начала ветви (целое число)
	4.	Диспетчерское название	Поле вывода названия элемента
2.	Отключаемый элемент	Таблица для ввода параметров отключаемых элементов	
3.	Выбранный режим	Поле отображения файла предельного режима	
4.	Выбранная траектория	Поле отображения файла траектории утяжеления	
5.	Выбрать	Кнопка для выбора файлов	
6.	Расчет нормальной схемы	Кнопка для запуска расчета МНР в нормальной схеме	
7.	Расчет ремонтной схемы	Кнопка для запуска расчета МНР в ремонтной схеме	
8.	Сохранить отчет	Кнопка для сохранения отчета	
9.	Изменение Q	Контейнер для группировки информации об изменениях реактивной мощности	
10.	Изменение P	Контейнер для группировки информации об изменениях активной мощности	

Приложение позволяет работать с такими режимами как:

1. Рпред в прямом направлении

Когда расчеты проводятся на новом для технолога сетевом элементе необходимо выбрать начальную схему. Алгоритм предполагает, что первой схемой будет являться нормальная схема. Кроме нормальной схемы, согласно МУ, рассматриваются одноремонтная и двуремонтная схемы.

После выбора схемы технолог изучает имеющиеся в районе проведения расчетов средства компенсации и/или генерации реактивной мощности. Для получения наибольшего предельного перетока необходимо увеличить напряжение по обе стороны от сетевого элемента.

Следующим шагом алгоритма является изучение технологом имеющихся источников генерации активной мощности и влияние их загрузки/разгрузки на величину перетока мощности по СЭ. В случае получения перетока в прямом направлении генерация увеличивается в передающей части и снижается в приемной, если же моделируется обратное направление, то действия зеркально противоположны.

Еще одним фактором, влияющим на значение загруженности сетевого элемента, является нагрузка. Изменение нагрузки не всегда доступное действие. Мощность, потребляемая нагрузкой, имеет конечное значение и превышать это значение – значит создавать не режим, который не может существовать в реальности. В случае с генерацией ограничения заложены в модели генераторов, при изменении нагрузки такие ограничения не устанавливаются в программном комплексе, поэтому технолог должен самостоятельно контролировать насколько возможно увеличение или снижение нагрузки.

После выполнения вышеописанных шагов запускается расчет режима. В случае если режим рассчитан процедура утяжеления повторяется до тех пор, пока не появится сообщение о расхождении режима.

Если в сообщении говорится о превышении числа итераций, то считается, что достигнут предел по статической аperiodической устойчивости. Технолог уменьшает шаг утяжеления и запускает расчет. Делается это до снижения шага в N-раз. Сохраняется последний сходящийся режим. Параметр N создается настраиваемым и значение указывается пользователем.

Но после получения расходящегося режима, технолог должен рассмотреть последний сходящийся режим и определить место и причину расхождения. В случае если это происходит не исследуемому СЭ, предпринять действия для разгрузки или увеличения напряжения в месте расхождения.

При расхождении режима по напряжению технолог предпринимает действия по повышению U в месте снижения. Если это невозможно, то сохраняется предыдущий режим.

Проведя расчеты в нормальной схеме, подобным образом рассматриваются ремонтные схемы. В итоговую таблицу заносится режим с наибольшим предельным перетоком.

Предложенный порядок действий не учитывает возможности близости сетевого элемента к балансирующему узлу, такую возможность должен учитывать технолог при подготовке режима.

После выполнения расчетов нужный режим сохраняется, а его параметры записываются в итоговую таблицу.

Режимы с 8%, 20% запасами и АДТН

Алгоритм выполняет обратное утяжеление автоматически. Технолог на основе действий по получению предельного перетока указывает на каких элементах и в каком объеме изменяются величины. Иными словами, указывает траекторию снижения перетока, по которой автоматически проводятся расчеты. Предполагается использовать стандартную таблицу утяжеления.

После выполнения расчетов нужный режим сохраняется, а его параметры записываются в итоговую таблицу.

Режимы с односторонним отключением ЛЭП

В автоматическом режиме моделируется односторонне отключение ЛЭП с двух сторон поочередно и параметры режима сохраняются.

Режимы с максимальным углом нагрузки

Для рассчитанных по пунктам выше режимов, определяется угол нагрузки. Эти значения сравниваются с углами наклона характеристики срабатывания ДЗ. Режим, в котором значение угла нагрузки ближе всего к углу наклона характеристики, загружается как исходный для дальнейшего расчета.

Далее выполняется увеличение перетока реактивной мощности по сетевому элементу. Для этого технологу необходимо определить какие устройства в этом участвуют и шаг изменения параметров. После каждой итерации сравниваются значение углов.

Расчет заканчивается и сохраняются результаты при условии равенства сравниваемых углов с учетом 5% погрешности.

В случае, если достигнут предел перетока реактивной мощности, а необходимый угол не достигнут, технолог снижает переток активной мощности и процедура повторяется. Предел по реактивной мощности принимается в случае исчерпания регулировочного диапазона задействованных средств СКРМ или если дальнейшее увеличение или снижение Q влечет расхождение режима.

Возможен вариант что и ступенчатое снижение активной мощности не приведет к необходимому результату, в таком случае сохраняется режим с наибольшим углом.

Выходные данные приложение записывает в лист Excel, в котором будет формироваться отчет о проведённых расчетах. На рисунке 12 представлено поле листа Excel, в котором будут фиксироваться параметры всех режимов.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	№ режима	Наименование объекта электроэнергетики	N_нач/N_кон	U		P, МВт	Q, Мвар	I, А
2				модуль, кВ	фаза, град			
3								
4	1							
5								
6	2							
7								
8	3							
9								
10	4							
11								
12	5							
13	6							
14	7							
15								
16	8							
17								
18	9							
19								
20	10							

← ▶ **Нормальная схема** ⊕

Рисунок 12 – Область сохранения параметров режимов

В этом же листе создается область, в которой на основе полученных параметров выполняется перевод параметров в R-X координаты и определение угла нагрузки. Пример представлен на рисунке 13.

K	L	M	N	O	P	Q
U	P+iQ	R+iX	Z	φ	R	X
0	0	#ЧИСЛО!	#####	#####	#####	#####
0	0	#ЧИСЛО!	#####	#####	#####	#####
0	0	#ЧИСЛО!	#####	#####	#####	#####
0	0	#ЧИСЛО!	#####	#####	#####	#####
0	0	#ЧИСЛО!	#####	#####	#####	#####
0	0	#ЧИСЛО!	#####	#####	#####	#####

Рисунок 13 – Область перевода параметров в R-X координаты

Так же имеются поля для графического отображения полученных режимов на плоскостях P-Q и R-X (рисунок 14).

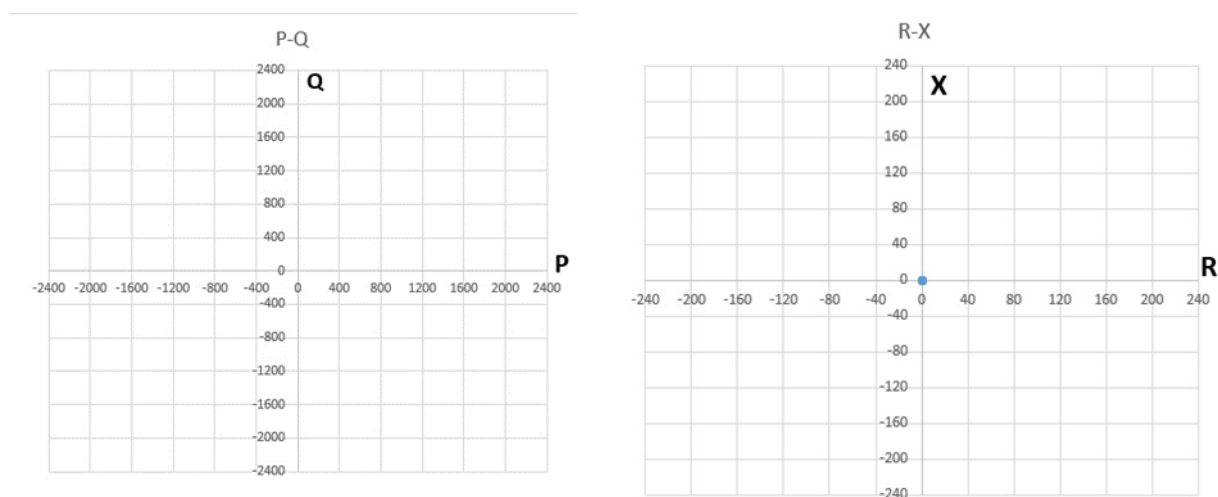


Рисунок 14 – Область графического отображения режимов

Выводы

Одним из важнейших этапов разработки программного обеспечения является его программная реализация. Исходя из полученных результатов работы, можно сделать следующие выводы:

1. Для разработки ПО была выбрана технология .NET Framework, в связи с тем, что одним из основных требований к ПО является возможность развертывания в любом из филиалов АО «СО ЕЭС», где используется ОС Windows.
2. Для разработки ПО использован язык C# и среда разработки Microsoft Visual Studio, которая имеет широкое применение для разработок Windows-приложений по всему миру.
3. Для реализации графического интерфейса пользователя была выбрана технология Windows Forms. Разработанный GUI отвечает всем функциональным требованиям.
4. В качестве математического модуля ПО использовалась библиотека `ASTRALib.dll`, созданная разработчиками ПБК «RastrWin3». Библиотека содержит методы и свойства для расчета установившихся режимов.

5. Запись результатов расчета МНР осуществляется в файлы Excel с помощью библиотеки Microsoft.Office.Interop.Excel.

4 Вычислительные эксперименты

4.1 Тестирование приложения

Первые расчетные эксперименты проводились на учебной схеме, состоящей из 34 узлов и 39 ветвей. Схема представлена на рисунке 15. Красным цветом указаны линии, по которым определялись максимально нагрузочные режимы.

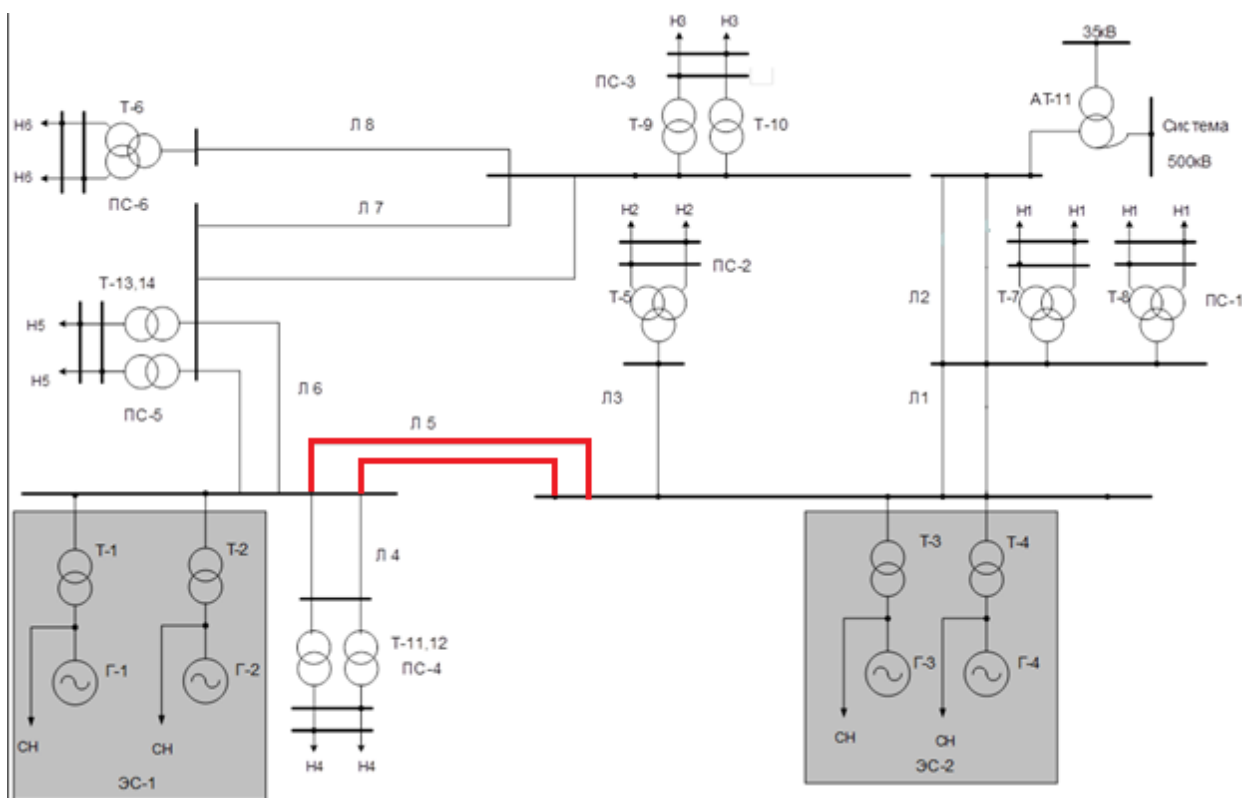


Рисунок 15 – Тестовая схема

Перед началом расчетов в главном окне приложения указывается заранее подготовленный предельный режим в формате .rg2. Так же указывается файл траектории утяжеления, если таковой был уже создан. В данном примере использовался вариант указания траектория по средствам разрабатываемого приложения.

Обязательной информацией, без которой расчет не начнется является номер исследуемой ветви, номер узла ее начала и номер узла конца. В соответствии с этими параметрами автоматически заполняется поле «Диспетчерское название»

Помимо этого, пользователь имеет возможность указать ветвь, отключение которой будет моделироваться во время расчета.

Пример стартового положения приложения приведен на рисунке 16.

The screenshot shows the 'Расчет МНР' application window with two tabs: 'Параметры расчета' and 'Параметры утяжеления'. The 'Параметры расчета' tab is active. It contains the following fields and controls:

- Выбранный режим:** 'Пределный.rg2' with a 'Выбрать' button.
- Выбранная траектория:** 'Траектория.ut2' with a 'Выбрать' button.
- Исследуемый элемент:**
 - Номер узла начала ветви: 2
 - Номер ветви: 16
 - Номер узла конца ветви: 18
 - Диспетчерское название: ВЛ 220 кВ Южный - Город №1
- Отключаемый элементы:** A table with the following data:

	Номер ветви	Узел начала	Узел конца	Диспетчерское название
▶	3	3	2	ВЛ 220 кВ Заря - Солнечный №1
*				

At the bottom of the window, there are three buttons: 'Расчет нормальной схемы', 'Расчет ремонтной схемы', and 'Сохранить отчет'.

Рисунок 16 – Начало расчета

Поскольку в данном примере было использована возможность ручного указания траектории, файл Траектория.ut2 не используется.

Для указания в каких узлах необходимо изменять используется вкладка «Параметры утяжеления». В приведенных таблицах необходимо указать номер узла, вид мощности (генерируемая или потребляемая) и шаг изменения величины. Пример работы по заданию траектории представлен на рисунке 17.

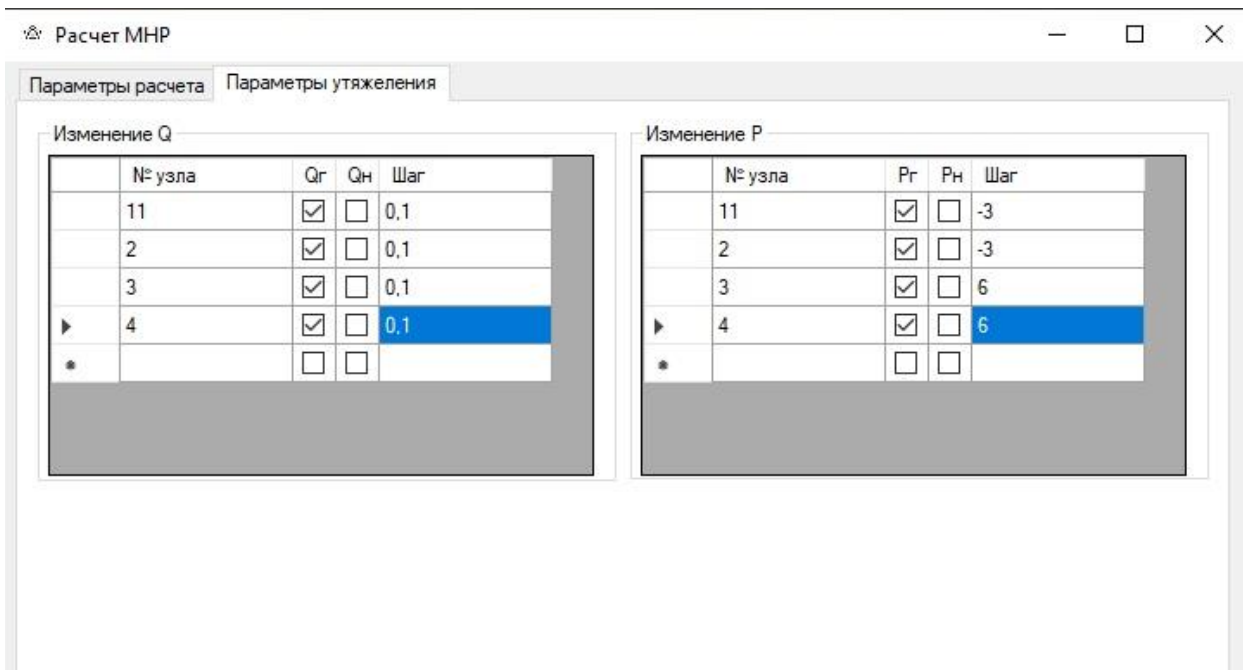


Рисунок 17 – Начало расчета

После заполнения всех необходимых полей пользователь может запустить расчет максимальных нагрузочных режимов.

По мере того, как алгоритм выполняет расчет всех режимов происходит заполнение отчета в Excel и переход из P-Q в R-X координаты. Результаты выполнения программы представлены на рисунках 18 – 20.

№ режима	Наименование объекта электроэнергетики	N_нач/N_кон	U		P, МВт	Q, Мвар	I, А
			модуль, кВ	фаза, град			
1	Шина ЭС-2	1	194,67519	-0,8271419	348,88438	-88,530293	2,2851978
2	Шина ВН ЭС 1	6	194,10854	-0,795521	-350,49886	78,057274	0,1420443
3	Шина ЭС-2	1	206,5008	-0,7510609	320,52565	-172,13482	2,1164249
4	Шина ВН ЭС 1	6	204,54638	-0,7240568	-321,99257	162,79229	0,1338567
5	Шина ЭС-2	1	213,04684	-0,6694013	262,50984	-241,6359	1,876924
6	Шина ВН ЭС 1	6	209,92391	-0,6474509	-263,83613	233,33233	0,1252302
7	Шина ЭС-2	1	182,48602	-0,9034399	157,62305	-210,93231	2,2567129
8	Шина ВН ЭС 1	6	179,10035	-0,884453	-158,608	204,75419	0,1437248
9	Шина ЭС-2	1	196,49215	-0,9244446	-4,0013208	-187,25503	2,1928944
10	Шина ВН ЭС 1	6	193,32712	-0,9224607	3,5705199	185,07222	0,1168425
11	Шина ЭС-2	1	193,78291	-0,9256681	-2,129E-06	0,8231507	2,1859403
12	Шина ВН ЭС 1	6	187,11833	-0,9214902	-1,985E-06	0,7675048	0,1174886
13	Шина ЭС-2	1	187,73585	-0,8803535	317,27865	45,258462	2,3521485
14	Шина ВН ЭС 1	6	189,4023	-0,8514637	-318,65373	-54,104619	0,1453239
15	Шина ЭС-2	1	199,38698	-0,7018753	276,47011	48,724672	1,9588594
16	Шина ВН ЭС 1	6	200,89131	-0,6796375	-277,40529	-54,392907	0,1350965
17	Шина ЭС-2	1	204,40444	-0,6874576	171,33708	70,324557	1,8423498
18	Шина ВН ЭС 1	6	205,94593	-0,6747929	-171,72386	-72,109256	0,1305166

Рисунок 18 – Область сохранения параметров режимов

	K	L	M	N	O	P	Q
1							
2	U	P+iQ	R+iX	Z	φ	R	X
3	194,675186840194	348,88438214903-88,5302930341489i	102,056047730983-25,8969798415099i	105,291	-14,238	102,056	-25,897
4	194,108536550195	-350,498858999194+78,057274096568i	-102,418914696984+22,8090365828948i	104,928	167,445	-102,42	22,809
5	206,500799631012	320,525647782079-172,13481672396i	103,258605055713-55,453911970631i	117,207	-28,238	103,259	-55,454
6	204,546377632095	-321,992569144626+162,792287723452i	-103,486417922563+52,3204332530803i	115,961	153,18	-103,49	52,3204
7	213,04684288558	262,5098444897-241,635901884073i	93,5986728576728-86,1560059779148i	127,215	-42,629	93,5987	-86,156
8	209,923914076403	-263,836133447836+233,332327973451i	-93,7236406945076+82,8876431124642i	125,118	138,511	-93,724	82,8876
9	182,486023123112	157,623051702766-210,932312340251i	75,7026311176419-101,30581066275i	126,466	-53,23	75,7026	-101,31
10	179,100354952163	-158,608003379506+204,75419442321i	-75,8437668829578+97,9101247052728i	123,849	127,762	-75,844	97,9101
11	196,492148742136	-4,00132079974772-187,255032847692i	-4,40380948010021-206,090821036677i	206,138	-91,224	-4,4038	-206,09
12	193,327123539487	3,57051993453207+185,072217362881i	3,89469065165263+201,875090479869i	201,913	88,8948	3,89469	201,875
13	193,782907270551	2,12924430886829E-06+0,823150692252399i	-0,118004273110116+45619,6119415537i	45619,6	90,0001	-0,118	45619,6
14	187,118333458157	0,000019853050274854+0,76750479071986i	-0,118004273112814+45619,6119415539i	45619,6	90,0001	-0,118	45619,6
15	187,735854703537	317,278645215722+45,2584619234916i	108,86928353978+15,5297445889333i	109,971	8,11823	108,869	15,5297
16	189,40229566284	-318,65373242719-54,10461933482i	-109,422904739015-18,5790530753235i	110,989	-170,36	-109,42	-18,579

Рисунок 19 – Область перевода параметров в R-X координаты

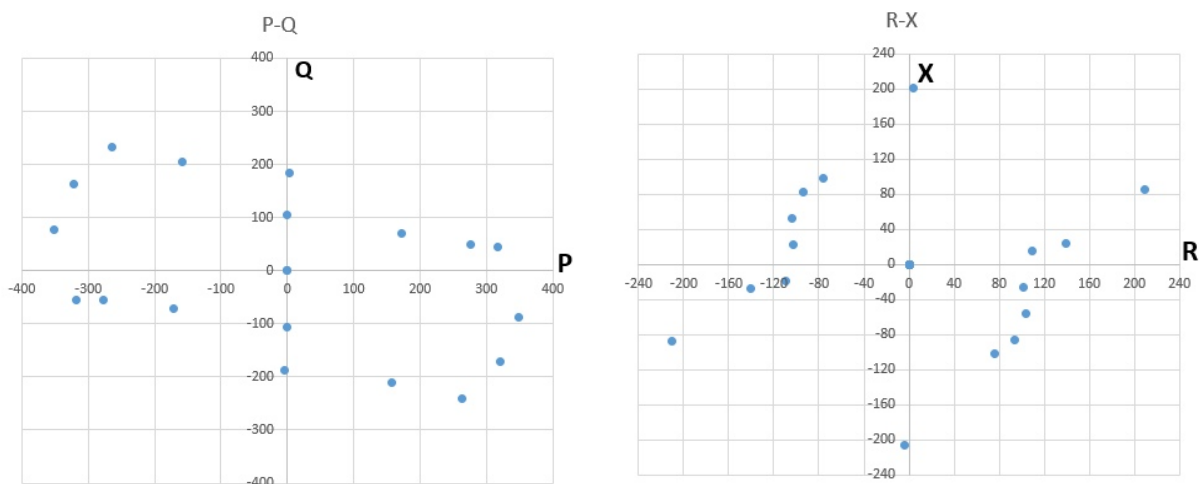


Рисунок 20 – Область графического отображения режимов

Каждый рассчитанный режим сохраняется в формате .rg2. Так же пользователь имеет возможность сохранить полученный расчет из окна приложения. Для этого нужно нажать кнопку «Сохранить отчет». Приложение выполнит сохранение файла Отчет.xlsx в папку Мои документы.

Выполнения расчетов с отключением различных элементов активируется нажатием кнопки «Расчет ремонтной схемы». Приложение

5. Финансовый менеджмент

5.1 Введение

Основной задачей технико-экономического расчёта является определение величины экономического эффекта от использования в общественном производстве основных и сопутствующих результатов, получаемых при решении поставленной задачи в данной диссертации.

Цель работы – программная реализация алгоритма автоматизации расчетов максимальных нагрузочных режимов (МНР) для отстройки релейной защиты.

В процессе работы проводились расчеты максимальных нагрузочных режимов различных сетевых элементов в программном комплексе RastrWin3.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели: минимальные действия технолога при проведении расчетов, автоматическое выполнение однотипных расчетов и заполнение итоговых документов.

Эффективность разрабатываемого алгоритма определяется тем, насколько быстрее проводятся расчеты в сравнении с традиционным способом.

Использование автоматизации для проведения расчетов максимальных нагрузочных режимов, позволит снизить требуемые трудочасы для решения данной задачи, что в свою очередь ведет к существенной экономии денежных ресурсов.

5.2 Предпроектный анализ

Предпроектный анализ позволит установить соответствие интересов инвестора и участника. Необходимо произвести анализ рынка электроэнергетики в области управления электроэнергетических систем,

также необходимо определить потребителей, дать оценку готовности проекта к коммерциализации.

Потенциальные потребители разрабатываемого алгоритма могут стать: АО «СО ЕЭС», ПАО "ФСК ЕЭС".

Специалисту службы электрических режимов требуется около четырех часов на расчет МНР одного сетевого элемента, при условии, что сотрудник не занимается текущими заявками. Расчет транзита из 15 элементов занимает неделю рабочего времени. В среднем подобные расчеты запрашиваются раз в три месяца.

Однотипность расчетов допускает возможность автоматизации средствами ПО RastrWin3. Это существенно сократит время, необходимое для выполнения данной задачи.

Актуальность предложенной темы заключается в упрощении, ускорении и проведении более широкого спектра проведения расчетов максимальных нагрузочных режимов с помощью разработки нового алгоритма. Это позволит осуществить такую настройку релейной защиты, которая исключала бы ложные срабатывания.

Это выгодно и сетевым компаниям, ведь и в их ведении имеются комплекты дистанционной релейной защиты, настройку которых необходимо осуществлять, учитывая нагрузочные режимы. Приведем на основании этих фактов сегментирование рынка.

Карта сегментирования рынка приведена в таблице 13.

Таблица 13 – Карта сегментирования рынка

		Потребители алгоритма расчетов максимальных нагрузочных режимов	
		АО «СО ЕЭС»	ПАО "ФСК ЕЭС"
Область использования алгоритма централизованного АРПМ	Использование технологиями СЭР для снижения времени на выполнение задачи	X	
	Использование технологиями релейной защиты для настройки комплектов ДЗ	X	X

По результатам сегментирования можно сделать вывод о том, что основным потребителем алгоритма работы является АО «СО ЕЭС», потому что обеспечение надежности энергосистемы и оказание системных услуг, которые реализуются средствами релейной защиты, является прямым назначением «СО ЕЭС».

5.3 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности позволяет провести оценку эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Данный анализ проведен с помощью оценочной карты. Для сравнения выбраны следующие способы расчета: Существующий метод (ручной расчет), автоматизированный расчет и макрос-файл «Расчет МНР».

Таблица 14 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		ручной	автоматизированный	«Расчет МНР»	ручной	автоматизированный	«Расчет МНР»
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Адаптивность	0,15	5	3	2	0,75	0,45	0,3
2. Скорость расчетов	0,15	1	5	3	0,15	0,75	0,45
3. Надежность	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
4. Потребность в дополнительных действиях	0,05	1	4	3	0,05	0,2	0,15
5. Простота применения и использования	0,1	2	4	2	0,2	0,4	0,2
6. Использование в увеличении кол-ва рассматриваемых режимов	0,05	1	5	1	0,05	0,25	0,05
Экономические критерии оценки эффективности							
7. Цена реализации	0,1	5	2	5	0,5	0,2	0,5
8. Предполагаемый срок работы алгоритма	0,1	1	5	3	0,1	0,5	0,3
9. Уровень проникновения на рынок	0,05	2	4	3	0,1	0,2	0,15
10. Поддержка после внедрения	0,1	5	4	1	0,5	0,4	0,1
Итого	1				3,15	3,95	2,65

По результатам экспертной оценки, автоматизированный расчет является более конкурентоспособным, чем остальные способы, однако за счет надежности, адаптивности и цены реализации отставание ручного метода не велико.

5.4 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Анализ проекта сведем в таблицу 7.

Интерактивные матрицы проекта

Таблица 15 – Связь сильных сторон с возможностями

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
O1	-	+	-	+	+	+	-	+
O2	-	+	+	+	+	+	+	+
O3	0	+	0	+	+	+	-	+
O4	0	+	-	+	+	+	0	+

Таблица 16 – Связь слабых сторон с возможностями

	W1	W2	W 3	W4
O1	+	-	-	-
O2	+	-	-	-
O3	-	-	-	-
O4	0	-	-	-

Таблица 17 – Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
T1	-	-	-	-	-	-	0	0
T2	-	0	-	-	-	0	0	0
T3	-	-	-	-	-	-	-	0

Таблица 18 – Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2	W 3	W4
T1	+	0	0	0
T2	0	+	+	-
T3	0	+	0	+

Таблица 19 – Итоговая матрица SWOT

	Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
	<p>S1. Техническая простота использования алгоритма</p> <p>S2. Возможность использования как для опытных технологов, так только вошедших в должность</p> <p>S3. Использование действующего программного обеспечения и собственного разработчика</p> <p>S4. Возможность просмотра и анализа промежуточных расчетов</p> <p>S5. Применимость алгоритма к большей части энергообъектов</p> <p>S6. Работа с действующим режимом</p> <p>S7. Наглядность алгоритма</p> <p>S8. Высокая точность алгоритма</p>	<p>W1. Отсутствие выработанной методики по определению причины расхождения режима (по статической устойчивости или по напряжению).</p> <p>W2. Отсутствие бизнес-плана коммерциализации</p> <p>W3. Не проработаны вопросы использования инфраструктуры поддержки</p> <p>W4. Выбор уставки P3 при нарушении условий селективности</p>

Продолжение таблицы 19

<p>Opportunities (возможности)</p> <p>О1. Увеличение ложных срабатываний, связанных с неправильными настройками релейной защиты</p> <p>О2. Старение имеющегося программного обеспечения (RastrWin3) и постепенная его замена на новое ПО (СК-11)</p> <p>О3. Требования к увеличению надёжности ЭС (СО ЕЭС)</p> <p>О4. Ужесточение требований к моделируемым режимам</p>	<p>О1О2О3О4S2S4S5S6S8 – использование алгоритма для быстрого и полноценного расчета максимальных нагрузочных режимов и настройке релейной защиты для снижения аварийности энергосистем</p> <p>О2S3S7 – использование алгоритма для его реализации на новой платформе</p>	<p>О1О2W1 – проработать методику определения вида расхождения режима</p>
<p>Threats (угрозы)</p> <p>T1. Незаинтересованность крупных энергокомпаний</p> <p>T2. Отсутствие заинтересованных инвесторов проекта</p> <p>T3. Отсутствие спроса на технологию</p>		<p>T1W1 – заинтересовать компании проработанной методикой определения расхождения режима</p> <p>T2W2W3 – разработать бизнес-план коммерциализации и использовать инфраструктуру НИ ТПУ</p> <p>T3W2W4 – использовать процедуру взаимодействия СЭР и СРЗА</p>

Автоматический алгоритм обладает большим количеством сильных сторон, но и имеются недостатки, а именно отсутствие методики определения расхождения режима, требований к наличию высококвалифицированного персонала и административными проблемами внедрения во внешние системы.

Но при видимом эффекте использования все слабые стороны и угрозы будут ликвидированы, так как в большей степени все проблемы связаны с финансированием.

5.5 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценим готовность проекта к коммерциализации, заполнив соответствующую таблицу.

Таблица 20 – Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1. Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2. Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	5
3. Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	5
4. Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5. Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
6. Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	1
7. Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8. Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9. Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	3
10. Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	5
11. Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12. Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13. Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	1

Продолжение таблицы 20

14. Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	5
15. Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
ИТОГО БАЛЛОВ	45	47

По суммарным значениям баллов $B_{\text{СУМ}} = 47$ можно сказать, что проект обладает перспективностью выше среднего. Значение позволяет говорить о готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации.

Тем не менее, произведенная оценка готовности научной разработки требует дальнейшего совершенствования проекта и более глубоких исследований в области маркетинга.

5.6 Виды коммерциализации

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и т.д.), одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

Для данной разработки наиболее подходит инжиниринг, т.е. комплекс инженерно-консультационных услуг коммерческого характера по подготовке и обеспечению непосредственно процесса производства, обслуживанию сооружений, эксплуатации хозяйственных объектов и реализации продукции.

Возможна следующая схема коммерциализации: между НИ ТПУ и предприятием-заказчиком инжиниринговых услуг заключается договор. Исполнитель предоставляет расчетные модели, спроектированные на средства предприятия-заказчика с использованием производственной базы НИ ТПУ, и услуги автоматизации для предприятия-заказчика.

В рамках инициации определяются цели и содержание проекта, определяется объем финансирования.

Определим заинтересованные стороны и их ожидания, результат сведем в таблицу 21.

Таблица 21 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Руководитель проекта	Реализация проекта, получение гранта
Исполнитель проекта	Получение степени магистра
НИ ТПУ	Привлечение средств договоров, рост средней оплаты труда, рост рейтинга НИ ТПУ
Предприятия	Рост эффективности производства

Определим цели и результаты проекта, сведя их в таблицу 22.

Таблица 22 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Создание алгоритма автоматизации расчетов максимальных нагрузочных режимов для отстройки релейной защиты.
Ожидаемые результаты проекта:	Алгоритм автоматизации расчетов максимальных нагрузочных режимов для отстройки релейной защиты
Критерии приемки результата проекта:	Автоматический расчет всех режимов, описанных в методических указаниях и заполнение итоговых таблиц. Упрощение процесса расчета.
Требования к результату проекта:	Сокращение времени, необходимого для расчета.
	Упрощение проведение расчетов

5.7 Организационная структура проекта

Исполнителей и их роли в создании проекта сведем в таблицу 23.

Таблица 23 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1. Лепустин Алексей Владимирович НИ ТПУ <i>Старший преподаватель. ОИТ</i>	Руководитель проекта	1. Анализ имеющихся технических решений и результатов. 2. Программная реализация	320
2. Григорьев Денис Сергеевич АО «СО ЕЭС» <i>Начальник отдела развития Службы АСДУ</i>	Эксперт проекта	1. Анализ имеющихся технических решений и результатов.	52
3. Бахтеев Максим Константинович НИ ТПУ <i>Студент группы О-5КМ81</i>	Исполнитель проекта	1. Разработка макета ПО. 2. Разработка модуля для автоматизированного расчета. 3. Разработка модуля для формирования отчета.	980
ИТОГО:			1352

5.8 Планирование научно-технического проекта

Особенность НИР в энергетической области — это ее неповторимость, сложность и уникальность.

Последовательность выполнения научно-исследовательской работы, а также ее содержание зависят от предмета исследования, сложности научно-исследовательской работы, актуальности и новизны темы.

5.8.1 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты.

Таблица 24 – Контрольные события проекта

Контрольное событие	Дата	Результат
1. Составление ТЗ и его утверждение, разработка плана-графика	10.10.19	Составление плана работ
2. Начало изучения литературы	15.10.19	Написание главы «Литературный обзор»
3. Подбор необходимых математических расчетных моделей	10.11.19	Сборка экспериментальной установки
4. Проведение расчетов по первому сетевому элементу	16.11.19	Получение данных для отстройки релейной защиты (P,Q,U, φ)
5. Разработка первого варианта алгоритма	01.12.19	Проверка охвата всех вариантов
6. Проведение расчетов по второму и третьему сетевому элементу	06.12.19	Получение более широкий сектор вариантов
7. Корректировка алгоритма	19.12.19	Проверка эффективности нового алгоритма
8. Вывод о проведенных расчетах	28.12.19	Предложен алгоритм автоматизации
10. Программная реализация расчетной части ПО	26.05.20	Описание работы алгоритма расчетной части
11. Программная реализация части, которая формирует итоговый расчет	20.10.20	Описание работы алгоритма при формировании отчета
12. Тестирование ПО	30.12.20	Написание основной части
13. Разработка направлений коммерциализации проекта	20.01.20	Заключение договора с предприятием-заказчиком и получение прибыли

5.8.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта.

Линейный график представляется в виде таблицы.


Таблица 25 – Календарный график проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1. Составление ТЗ и его утверждение, разработка плана-графика	1	10.06.20	11.06.20	Руководитель проекта, эксперт проекта,
2. Изучение литературы и прочих материалов по теме	15	15.06.20	01.07.20	Руководитель проекта, исполнитель проекта,
3. Составление исходной схемы для расчетов	6	01.07.20	07.07.20	Эксперт проекта, исполнитель проекта
4. Подбор эффективных средств компенсации реактивной мощности	3	07.07.20	10.07.20	Эксперт проекта, исполнитель проекта
5. Подбор и изучение объекта расчетов	3	10.07.20	13.07.20	Руководитель проекта, исполнитель проекта
6. Сборка математической модели	3	13.07.20	16.07.20	Эксперт проекта, исполнитель проекта
7. Проведение серии первичных расчетов	13	16.07.20	29.07.20	Исполнитель проекта
8. Разработка первого варианта алгоритма	5	01.08.20	06.08.20	Исполнитель проекта
9. Замена замена исследуемого сетевого элемента и повтор расчетов	9	06.08.20	15.08.20	Исполнитель проекта
10.Корректировка алгоритма	5	19.08.20	24.08.20	Исполнитель проекта

Продолжение таблицы 25

11. Реализация алгоритма на языке С#	61	25.08.20	01.11.20	Руководитель проекта, исполнитель проекта
12. Оформление результатов в форме ПЗ	73	12.11.20	24.01.21	Исполнитель проекта
Итого:		Эксперт проекта		13
		Руководитель проекта		80
		Исполнитель проекта		196

Обозначения в календарном плане-графике проведения НИОКР, следующие:

 - Эксперт

 - Руководитель

 - Исполнитель

Таблица 26 – Календарный план-график проведения НИОКР

Название	Длит-ть, дни	Состав участников	Продолжительность выполнения работ																							
			Июль		Июнь			Август			Сентябрь			Октябрь			Ноябрь			Декабрь			Январь			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Составление план-графика, ТЗ и его утверждение	1	Эксперт																								
		Руководитель																								
Изучение литературы и прочих материалов	15	Исполнитель																								
		Руководитель																								
Составление исходной схемы для расчетов	6	Эксперт																								
		Исполнитель																								
Подбор эффективных средств компенсации реактивной мощности	3	Эксперт																								
		Исполнитель																								
Подбор и изучение объекта расчетов	3	Исполнитель																								
		Руководитель																								
Сборка математической модели	3	Эксперт																								
		Исполнитель																								
Проведение серии первичных расчетов	13	Исполнитель																								
Разработка первого варианта алгоритма	5	Исполнитель																								

5.8.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов).

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

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 27.

Таблица 27 – Сырье, материалы и комплектующие изделия

№	Наименование оборудования	Единица измерения	Кол-во единиц	Цена единицы, руб.	Общая стоимость, руб.
1	Персональный компьютеры	шт.	1	-	-
2	Среда разработки Visual Studio Code	шт.	1	-	-
3	ПО RastrWin3	шт.	1	1350	1350
Итого:					1,35 тыс. руб.

Расчет амортизации

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование и ПО (программное обеспечение). В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования для выполнения данной работы. Расчет амортизации проводится следующим образом:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где H_A – норма амортизации;

n – срок полезного использования в количествах лет.

$$A = \frac{H_A \cdot OC_n}{365} \cdot m$$

где OC_n – итоговая сумма в тыс.руб.;

m – время использования в днях.

Рассчитаем амортизацию для ПК *RastrWin3* и персонального компьютера со стоимостью 61,5 и 49 тысячи соответственно. А также пакета *Microsoft Office* – 10,550 тыс. руб. Для ПК срок полезного действия примем 5 лет, а для компьютера 3 года.

Для ПК *Microsoft Office*:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{5} = 0,2$$

$$A_{ПО} = \frac{H_A \cdot OC_n}{366} \cdot m = \frac{0,2 \cdot 10550}{366} \cdot 123 = 0,709 \text{ тыс.руб}$$

Для ПК *RastrWin3*:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{5} = 0,2$$

$$A_{ПО} = \frac{H_A \cdot OC_n}{366} \cdot m = \frac{0,2 \cdot 61500}{366} \cdot 30 = 1,008 \text{ тыс.руб}$$

Для персонального компьютера:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33$$

$$A_{ПК} = \frac{H_A OC_n}{366} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 49000}{366} \cdot 123 = 5,434 \text{ тыс. руб}$$

Общая амортизация равна 7,151 тыс. руб.

Основная заработная плата

В рамках хоздоговорных работ предполагается компенсация трудозатрат руководителя и исполнителей проекта. Определим их, руководствуясь среднедневным размером оплаты труда, принятым в ТПУ.

Основная заработная плата сотрудника (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИР и определяется по формуле:

$$C_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (2)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата:

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

где $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим

работником, раб. дн. (таблица 17);

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб./день.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

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

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

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала. Составляет 247 дней.

Месячный должностной оклад работника:

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

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб./мес.;

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

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор. Базовый оклад $Z_{\text{б}}$ определяется исходя из размеров окладов, определенных штатным расписанием предприятия.

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

Таблица 28 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{б}}$, руб./мес.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб./мес.	$Z_{\text{дн}}$, руб./день	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн.}}$, руб.
Исполнитель	17000	1,3	22100	931	196	182476
Руководитель	26300	1,3	34190	1440	80	115200
Эксперт	36800	1,3	47840	2015	13	26195
Итого:	63100		104130	4386		323871

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (6)$$

Таблица 29 – Заработная плата

Заработная плата	Исполнитель	Руководитель	Эксперт	Сумма
Основная зарплата	182476	115200	26195	323871
Дополнительная зарплата	21897	13824	3143,4	38864,4
Итого $C_{зп}$	362735,4			

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{соц} = k_{внеб} \cdot C_{зп}, \quad (7)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды

(пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), равный 0,271, т.к. заключался хозяйственный договор с НИ ТПУ.

$$C_{соц} = 0,271 \cdot 362735,4 = 98301,3 \text{ руб.}$$

Затраты на оформление патента

Благодаря оформлению патентов на различные товары, способы создания изделий и т. д., есть возможность обеспечить защиту от контрабандного производства изделий, и не иметь проблем с законом, если вдруг на создаваемый товар получают патент и ваши конкуренты. Также

авторство на патенты дает возможность вам получить доход от того, что вы передадите права на его применение другим лицам. Согласно законам РФ, изобретением может быть признано то или иное техническое решение различных отраслей, которое относится к продукту или способу его производства. На 2019 г. стоимость оформления патента составляет приблизительно 8000 руб.

Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. Накладные расходы составляет 20 % бюджета проекта, согласно условиям заключения хозяйственного договора в НИ ТПУ.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{итог}} = \frac{C_{\text{итог.б.н}}}{0,8},$$

(8)

$$C_{\text{накл}} = C_{\text{итог}} - C_{\text{итог.б.н}},$$

(9)

где $C_{\text{итог}}$ – итоговая сумма с накладными расходами;

$C_{\text{итог.б.н}}$ – итоговая сумма без накладных расходов.

$$C_{\text{итог}} = \frac{563222,5}{0,8} = 704028,13 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{накл}} = 704028,13 - 563222,5 = 140805,63 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ (название темы) по форме, приведенной в таблице 30.

Таблица 30 – Группировка затрат по статьям

Статьи								
Сырье, материалы	Амортизация	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Оформление патента	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
1350,0 руб.	7151,0 руб.	323871 руб.	38864,4 руб.	98301,3 руб.	8000 руб.	563222,5 руб.	140805,63 руб.	1181565,83 руб.

5.8.4 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 31 – Реестр рисков

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1. Отсутствие методики определения причины расхождения режима	Отсутствие спроса на алгоритм, снижение эффективности	3	2	Высокий	Выявление закономерностей расхождений	Отсутствие экспериментальных и теоретических исследований
2. Избыточный расчет режимов	Снижение спроса на алгоритм, снижение эффективности	4	4	Низкий	Контроль исходных данных технологом	Низкая квалификация персонала, халатность
3. Отсутствие финансовой поддержки проекта	Приостановка НИОКР	2	1	Высокий	Поиск инвесторов	Отсутствие инвесторов

5.9 Определение финансовой, бюджетной, экономической и социальной эффективности исследования

Проведем оценку эффективности инвестиций на реализацию проекта в целом, при этом сформируем денежный поток на вложенный капитал (собственные средства исполнителя и основные средства ТПУ), в т.ч. рост оплаты труда. В связи с чем компенсация трудозатрат не будет являться оттоком денежных средств.

Оценим текущие материальные расходы на создание и реализацию прибора: 120000 руб. Из них 10000 руб. – сырье и расходные материалы; 70000 руб. – оплата труда; остальные средства – отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы.

На предыдущих этапах была рассчитана себестоимость реализации проекта, выбрана модель коммерциализации, рассмотрены риски.

Для оценки общей экономической эффективности инноваций в качестве основных показателей рекомендуются:

- чистый доход (ЧД или NV);
- чистый дисконтированный доход (ЧДД или NPV);
- внутренняя норма доходности (ВНД или IRR);
- потребность в дополнительном финансировании (ПФ);
- дисконтированный срок окупаемости (ДСО или DPP);
- индекс доходности затрат (ИД или PI)

Степень устойчивости проекта по отношению к возможным изменениям условий реализации может быть охарактеризована показателями границ безубыточности и предельных значений таких параметров проекта, как объемы производства, цены производимой продукции, ограниченность применяемых ресурсов и пр. Под "безубыточным" понимается объем продаж, при котором чистая прибыль становится равной нулю.

Ставка дисконтирования принимается 10 %, т.к. 7 % – доходы альтернативных вложенных средств (депозит для юридических лиц); 3 % –

надбавка за риск.

Срок проекта принимаем равным 5 лет, т.к. за это время возможно появление новых, более совершенных технологий.

Цену одного хозяйственного договора примем как 250000 руб, согласно ценам на диагностику силового оборудования высокого напряжения.

Ликвидационную стоимость оборудования примем по остаточной стоимости оборудования: 250 тыс. руб.

В таблице 32 приведены расчёты уровня безубыточности для каждого из этапов проекта. Также рассчитаны основные показатели и представлен план денежных потоков:

Таблица 32 – План денежных потоков и расчёт безубыточности

Показатель, тыс. руб.	Номер шага (периода) расчета (t)					
	0	1	2	3	4	5
Операционная деятельность						
1. Поступления денежных средств от хоздоговоров	0	250	500	520	780	520
2. Материальные расходы	0	-120	-205	-205	-303	-210
3. ЧДПоп	0	130	295	315	477	310
4. Коэффициент дисконтирования	1	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621
5. Дисконтированный ЧДПоп	0	118,2	243,7	236,57	325,79	192,51
6. То же накопленным итогом (Накопленное сальдо ЧДПоп)	0	118,2	361,9	598,4	924,2	1116,71
Инвестиционная деятельность						
7. Инвестиции	-705	0	0	0	0	250
8. ЧДПин	-705	0	0	0	0	250
9. Коэффициент дисконтирования	1	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621
10. Дисконтированный ЧДПин	-705	0	0	0	0	155,25
11. То же накопленным итогом (Накопленное сальдо ЧДПин)	-705	-705	-705	-705	-705	-549,75
12. Сальдо суммарного потока (от опер. и инв. деятельности)	-705	130	295	315	477	560
13. Сальдо накопленного потока	-705	-575	-280	35	512	1072
14. Коэффициент дисконтирования	1	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621
15. Дисконтированный ЧДПоп+и	-705	118,2	243,7	236,57	325,79	347,76
16. То же накопленным итогом	-705	-586,8	-343,2	-106,6	219,2	567

Денежный поток в данном случае формируется для ТПУ и частного инвестора (которым выступают сами исполнители). Принимая в расчет структуру расходов по хоздоговорам, а именно: компенсация трудозатрат, отчисления во внебюджетные фонды, материальные затраты, накладные расходы, притоком денежных средств по хоздоговору будет являться величина хоздоговора, уменьшенная на сумму материальных и прочих расходов. При общей системе налогообложения доходы по хоздоговорам равны расходам, в связи с чем налоги с доходов вузом не уплачиваются. Амортизация в структуру расходов по хоздоговорам не включается. Накладные расходы предлагается отнести к денежным притокам, отчисления во внебюджетные фонды – притоки в целях оценки эффективности для бюджета в связи с тем, что ТПУ представляет именно бюджетные инвестиции.

Чистый доход (ЧД) указан в последнем столбце 13 строки: ЧД = 1072 тыс.руб.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) указан в последнем столбце 16 строки: ЧДД = 567 тыс. руб.

ВНД определяется, исходя из строки 12, подбором значения нормы дисконта. Используя встроенную функцию расчета ВНД в программе Microsoft Excel (формула «ВСД»), получаем, что ВНД = 32 %. Это еще раз подтверждает эффективность проекта, так как $ВНД > E$. Потребность в финансировании (ПФ) определяется максимальным отрицательным значением по строке 13 и равна 705 тыс. руб.

Индекс доходности инвестиций (ИД) или рентабельность инвестиций – отношение суммы доходов от производственной (операционной) деятельности к абсолютной величине капитальных вложений. Определяется как:

$$ИД = \frac{ЧД_{опн\text{ак}}}{ЧД_{инн\text{ак}}} = \frac{1116,71}{549,75} = 2,031$$

(10)

Сроком окупаемости (payback period) называется продолжительность периода от момента разработки проекта до момента окупаемости. Он определяется путем сопоставления произведенных капитальных вложений с величиной доходов от реализации проекта. Моментом окупаемости называется тот наиболее ранний момент времени в расчетном периоде, после которого текущий чистый доход ЧД становится и в дальнейшем остается неотрицательным. Дисконтированный срок окупаемости инвестиций:

$$ДСО = t + \frac{-C_{ni}}{C_{ci+1}} = 3 + \frac{106,6}{325,79} = 3,33 \text{ года} \quad (11)$$

где t – срок окупаемости, отсчитанный от начала операционной деятельности;

C_{ni} – сальдо накопленного потока i -го периода;

C_{ci+1} – сальдо суммарного потока $i+1$ -го периода.

5.9.1 Вывод по разделу

По итогам выполнения раздела была проведена оценка экономической эффективности и ресурс эффективности проекта. Из проведенных расчетов можно заключить, что устойчивость проекта особых подозрений не вызывает. По результатам расчёта экономических показателей эффективности возврата инвестиций, можно сделать вывод о том, что проект является инвестиционно-привлекательным.

Данный проект имеет хорошие экономические показатели (низкий бюджет, цена реализации лицензии, малый срок окупаемости и высокий индекс доходности).

Таким образом, привлечение средств ТПУ и собственных средств участников проекта могут считаться эффективными., а проект рекомендован к реализации.