

**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  |
|--|
| <b>Разработка и реализация программного обеспечения для автоматической обработки результатов расчетов переходных процессов с нарушением устойчивости</b> |

УДК 004.415:621.311.018-52

Студент

| Группа  | ФИО                       | Подпись | Дата |
|---------|---------------------------|---------|------|
| О-5КМ81 | Садохина Мария Алексеевна |         |      |

Руководитель ВКР

| Должность, место работы              | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------------------|----------------|------------------------|---------|------|
| профессор-консультант<br>ОЭЭ ИШЭ ТПУ | Вайнштейн Р.А. | Д. Т. Н.,<br>профессор |         |      |

**Консультанты:**

По выпускной квалификационной работе

| Должность, место работы    | ФИО             | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------------------|-----------------|------------------------|---------|------|
| доцент, каф. КСУП<br>ТУСУР | Хабибулина Н.Ю. | К. Т. Н.               |         |      |

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность, место работы    | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| профессор ОСГН<br>ШБИП ТПУ | Жиронкин С.А. | Д. Э. Н.               |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность, место работы | ФИО        | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------------|------------|------------------------|---------|------|
| доцент, ООД<br>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.               |         |      |

**Планируемые результаты обучения выпускника образовательной программы  
магистра по направлению 09.04.03 «Прикладная информатика»**

| <b>Код компетенции</b> | <b>Наименование компетенции</b>  |
|------------------------|--|
| 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)      Прохоров А.В.  
(Ф. И. О.)

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

В форме:

|                          |
|--------------------------|
| Магистерской диссертации |
|--------------------------|

Студенту:

| Группа  | ФИО                        |
|---------|----------------------------|
| О-5КМ81 | Садохиной Марии Алексеевне |

Тема работы:

|   |                         |
|---|-------------------------|
| Разработка и реализация программного обеспечения для автоматической обработки результатов расчетов переходных процессов с нарушением устойчивости |                         |
| Утверждена приказом директора   | №147-59/с от 26.05.2020 |

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

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>Исходные данные к работе</b> | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Техническое задание на разработку программного обеспечения.</li><li>2. Сведения об объекте автоматизации.</li></ol> |
|---------------------------------|--|

|   |   |
|---|---|
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изучение предметной области, исследование проблемы и постановка задачи;</li> <li>2. Проектирование программного обеспечения;</li> <li>3. Выбор среды разработки;</li> <li>4. Разработка программного обеспечения;</li> <li>5. Разработка руководства пользователя;</li> <li>6. Разработка руководства администратора;</li> <li>7. Тестирование программного обеспечения;</li> <li>8. Выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</li> <li>9. Выполнение раздела «Социальная ответственность».</li> </ol> |
|---|---|

|  |  |
|--|--|
| <b>Перечень графического материала</b> |  |
|--|--|

|   |
|---|
| <b>Консультант по выпускной квалификационной работе</b><br>Хабибулина Н.Ю., к.т.н., доцент каф. КСУП, ТУСУР |
|---|

|   |
|---|
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> |
|---|

| 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        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 29.06.2020 |
|---|------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность, место работы              | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|--------------------------------------|----------------|------------------------|---------|------------|
| профессор-консультант<br>ОЭЭ ИШЭ ТПУ | Вайнштейн Р.А. | д. т. н.               |         | 29.06.2020 |

**СОГЛАСОВАНО**

**Консультанты по ВКР:**

| Должность, место работы    | ФИО             | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|----------------------------|-----------------|------------------------|---------|------------|
| доцент, каф. КСУП<br>ТУСУР | Хабибулина Н.Ю. | к. т. н.               |         | 29.06.2020 |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа  | ФИО                       | Подпись | Дата       |
|---------|---------------------------|---------|------------|
| О-5KM81 | Садохина Мария Алексеевна |         | 29.06.2020 |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

Студенту:

|                     |              |                            |                                    |
|---------------------|--------------|----------------------------|------------------------------------|
| Группа              |              | ФИО                        |                                    |
| О-5КМ81             |              | Садохиной Марии Алексеевне |                                    |
| Школа               | ИШЭ          | Отделение школы (НОЦ)      | Электроэнергетики и электротехники |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность  | 09.04.03 Прикладная информатика    |

Тема работы:

|  |   |
|--|---|
| <b>Разработка и реализация программного обеспечения для автоматической обработки результатов расчетов переходных процессов с нарушением устойчивости</b> |   |
| <b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>  |   |
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>              | Бюджет проекта не более 196 653 руб., в т.ч. заработная плата участников проекта не более 133 382 руб.  |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>  | 30 % премии<br>20 % надбавки<br>13,5 % дополнительная заработная плата<br>16% накладные расходы<br>30% районный коэффициент<br>Показатель интегральной ресурсоэффективности не более 4,35 баллов из 5   |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>   | Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ<br>30% отчисления на социальные нужды   |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>  |   |
| 1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>   | Определение потенциальных потребителей;<br>Анализ исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;<br>SWOT-анализ.  |
| 2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>  | Проект выполнен в рамках ВКР, разработка устава не требуется.   |
| 3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>                                       | Формирование плана и графика разработки:<br>-определение структуры работ;<br>- определение трудоемкости работ;<br>- разработка графика Ганта.<br>Формирование бюджета затрат на научное исследование:<br>-заработная плата (основная и дополнительная);<br>- отчисления на социальные цели;<br>- накладные расходы. |
| 4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>   | Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности  |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> | 29.06.2020 |
|---|------------|

**Задание выдал консультант:**

|                      |                               |                        |         |            |
|----------------------|-------------------------------|------------------------|---------|------------|
| Должность            | ФИО                           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
| Профессор ОСГН, ШБИП | Жиронкин Сергей Александрович | д.э.н.                 |         | 29.06.2020 |

**Задание принял к исполнению студент:**

|         |                           |         |            |
|---------|---------------------------|---------|------------|
| Группа  | ФИО                       | Подпись | Дата       |
| О-5КМ81 | Садохина Мария Алексеевна |         | 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) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 10.09.2020    | Анализ предметной области: методы и средства выполнения автоматизации ликвидации асинхронного режима (АЛАР), программные комплексы для расчета электромеханических переходных процессов | 10                                 |
| 20.10.2020    | Проектирование программного обеспечения: определение требований, описание архитектуры, разработка UML-диаграмм и макета пользовательского интерфейса                                    | 20                                 |
| 15.12.2020    | Программная реализация: выбор и обоснование технологий обработки информации, разработка пользовательского интерфейса  | 30                                 |
| 30.12.2020    | Тестирование программного обеспечения   | 15                                 |
| 10.01.2021    | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение   | 10                                 |
| 12.01.2021    | Социальная ответственность  | 5                                  |
| 15.01.2021    | Анализ результатов работы   | 5                                  |
| 20.01.2021    | Оформление расчётно-пояснительной записки   | 5                                  |

**Составил руководитель ВКР:**

| Должность, место работы              | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|--------------------------------------|----------------|------------------------|---------|------------|
| профессор-консультант<br>ОЭЭ ИШЭ ТПУ | Вайнштейн Р.А. | д. т. н.,<br>профессор |         | 29.06.2020 |

**СОГЛАСОВАНО**

**Консультанты по ВКР:**

| Должность, место работы | ФИО                | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|-------------------------|--------------------|------------------------|---------|------------|
| доцент, каф. КСУП ТУСУР | Хабибулина<br>Н.Ю. | к. т. н.               |         | 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 104 страницы, 22 рисунка, 43 использованных источников, приложение.

Ключевые слова: автоматика ликвидации асинхронного режима, противоаварийная автоматика, годограф сопротивления, автоматизация, программное обеспечение.

Актуальность: Выбор параметров настройки устройств АЛАР – трудоемкий процесс, сопряженный со значительным количеством ручных операций. Технолог тратит большое количество времени на обработку результатов расчетов переходных процессов. Отсутствие инструмента, позволяющего автоматизировать процессы, предшествующие выбору параметров настройки устройств АЛАР, является основанием для разработки программного обеспечения.

Целью работы является разработка программного обеспечения, позволяющего автоматически обрабатывать результаты расчетов переходных процессов с нарушением устойчивости для определения набора параметров, необходимых для выбора параметров настройки устройств АЛАР.

В первой главе выполнен анализ выбора параметров настройки АЛАР.

Во второй главе выполнено проектирование программного обеспечения, а именно определение требований, описание архитектуры, разработка UML – диаграмм и макета пользовательского интерфейса.

В третьей главе выполнен выбор и обоснование технологий обработки информации, а также представлен пользовательский интерфейс.

В четвертой главе произведено тестирования заявленных функций.

В пятой главе приведено технико-экономическое обоснование разработки программного модуля.

В шестой главе были рассмотрены вопросы охраны и безопасности труда для рабочего места инженера-исследователя.

В заключении изложены основные результаты работы, и определены направления дальнейшего исследования по данной теме.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ Р 55105-2019 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования.

2. СТО 59012820.29.020.008-2015 (изм. см. приказ № 75 от 30.03.2018) Стандарт Организации релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Автоматика ликвидации асинхронного режима. Нормы и требования.

3. ГОСТ 34.602-89. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы. Введен в действие 01.01.1990.

4. ГОСТ 34.603-92 Информационная технология (ИТ). Виды испытаний автоматизированных систем. Введен в действие 01.01.1993.

5. РД 50-34.698-90 Методические указания. Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов. Введен в действие 01.01.1992.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**Асинхронный режим энергосистемы:** аварийный режим энергосистемы, характеризующийся несинхронным вращением части генераторов энергосистемы.

**Цикл асинхронного режима:** проворот относительного угла между электродвижущими силами несинхронно работающих генераторов на 360 градусов.

**Электрический центр качаний:** точка электрической сети, напряжение в которой при асинхронном режиме снижается до нуля.

**АО «СО ЕЭС»:** АО «Системный оператор Единой энергетической системы России», включая филиалы АО «СО ЕЭС».

**Обозначения и сокращения:**

АЛАР – автоматика ликвидации асинхронного режима

АР – асинхронный режим

ВЛ – воздушная линия

ДС – деление энергосистемы

ЕЭС России – единая энергетическая система России

КЗ – короткое замыкание

ЛЭП – линия электропередач

ОЗ – операционная зона

ПА – противоаварийная автоматика

ПО – программное обеспечение

СК – синхронные качения

УР – установившийся режим

ЭДС – электродвижущая сила

ЭМПП – электромеханический переходный процесс

ЭС – энергосистема

ЭЭС – электроэнергетическая система

API – Application Programming Interface

GUI – Graphical User Interface

UML – Unified Modeling Language

## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 14 |
| 1 Описание и анализ предметной области.....  | 16 |
| 1.1 Режимные характеристики АР и основные принципы его выявления.....  | 16 |
| 1.2 Техническая реализация устройств АЛАР.....   | 19 |
| 1.3 Методика выбора уставок различных устройств АЛАР.....  | 21 |
| 1.4 Программно-вычислительные комплексы для расчета переходных процессов в электроэнергетических системах..... | 22 |
| Выводы.....  | 26 |
| 2 Проектирование программного обеспечения.....   | 28 |
| 2.1 Определение требований к программному обеспечению.....   | 28 |
| 2.2 Моделирование системы.....   | 30 |
| 2.2.1 Диаграмма вариантов использования.....   | 30 |
| 2.2.2 Диаграмма деятельности.....  | 36 |
| 2.2.3 Диаграмма взаимодействия.....  | 37 |
| 2.3 Архитектура программного обеспечения.....  | 39 |
| 2.4 Макет интерфейса пользователя.....   | 41 |
| 2.5 Диаграмма классов.....   | 42 |
| Выводы.....  | 43 |
| 3 Программная реализация.....  | 45 |
| 3.1 Выбор и обоснование технологий обработки информации.....   | 45 |
| 3.2 Организация процесса расчета ЭМПП.....   | 47 |
| 3.3 Доступ к результатам расчета.....  | 48 |
| 3.4 Запись результатов.....  | 50 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.5   | Пользовательский интерфейс .....   | 51 |
|       | Выводы.....  | 53 |
| 4     | Тестирование программного обеспечения .....  | 55 |
| 4.1   | Исключения и обработка исключений .....  | 55 |
| 4.2   | Вычислительные эксперименты.....   | 58 |
|       | Выводы.....  | 64 |
| 5     | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и<br>ресурсосбережение.....                            | 65 |
| 5.1   | Введение .....   | 65 |
| 5.2   | Предпроектный анализ.....  | 65 |
| 5.2.1 | Потенциальные потребители результатов исследования .....   | 65 |
| 5.2.2 | Анализ конкурентных технических решений с позиции<br>ресурсоэффективности и ресурсосбережения..... | 67 |
| 5.2.3 | SWOT-анализ .....  | 69 |
| 5.2.4 | Оценка готовности проекта к коммерциализации .....   | 71 |
| 5.3   | Планирование управления научно-техническим проектом .....  | 72 |
| 5.3.1 | Структура работ в рамках научного исследования.....  | 72 |
| 5.3.2 | Определение трудоемкости работ.....  | 73 |
| 5.4   | Разработка графика проведения научно-исследовательского<br>проекта.....                            | 74 |
| 5.5   | Бюджет научного исследования.....  | 78 |
| 5.5.1 | Основная заработная плата.....   | 78 |
| 5.5.2 | Дополнительная заработная плата научно-производственного<br>персонала.....                         | 80 |
| 5.5.3 | Отчисления на социальные нужды .....   | 80 |
| 5.5.4 | Накладные расходы .....  | 81 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 5.5.5 | Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....                           | 81  |
| 5.6   | Ресурсоэффективность .....   | 82  |
| 5.7   | Вывод .....  | 83  |
| 6     | Социальная ответственность.....  | 84  |
| 6.1   | Введение .....   | 84  |
| 6.2   | Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....                             | 84  |
| 6.3   | Производственная безопасность. Анализ вредных и опасных производственных факторов.....       | 87  |
| 6.3.1 | Отклонение показателей микроклимата .....  | 88  |
| 6.3.2 | Повышенный уровень шума.....   | 90  |
| 6.3.3 | Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточная освещенность рабочей зоны ..... | 91  |
| 6.3.4 | Повышенный уровень электромагнитного излучения .....   | 92  |
| 6.3.5 | Опасность поражение электрическим током.....   | 93  |
| 6.3.6 | Психофизиологические факторы .....   | 94  |
| 6.4   | Экологическая безопасность .....   | 95  |
| 6.5   | Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....  | 96  |
|       | Выводы.....  | 97  |
|       | Заключение .....   | 98  |
|       | Список используемых источников.....  | 100 |
|       | Приложение .....   | 105 |

## **Введение**

Система противоаварийного управления ЕЭС России выполнена с использованием эшелонированного принципа, когда при развитии аварии устройства последующего уровня резервируют устройства предыдущего уровня. Автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР) используется как очередной эшелон защиты энергосистемы после автоматики предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ), как основное средство противоаварийной автоматики (ПА), защищающее энергосистему при ненормативных возмущениях, приводящих к возникновению асинхронного режима (АР) [1].

Согласно стандарту АО «Системный оператор Единой энергетической системы» (АО «СО ЕЭС») АЛАР предназначена для предотвращения и ликвидации АР отдельных генераторов, электростанций и частей энергосистемы [2].

Разработкой устройств АЛАР, а также методических указаний по их настройке и использованию в России занимаются такие организации как ООО «Прософт-Системы», ЗАО «ИАЭС», НПП ЭКРА и другие. Каждая из этих организаций предлагает для своих разработок определенную конкретную методику выбора параметров настройки устройств АЛАР и, как правило, для использования этих методик требуется большое число предварительных расчётов при различных возмущениях, в различных схемах и режимах, что является трудоёмкой задачей и занимает много времени [3, 4].

Выбор параметров настройкой устройств АЛАР – это трудоемкий процесс, сопряженный со значительным количеством ручных операций, автоматизация выполнения которых имеет немаловажное значение. В филиалах АО «СО ЕЭС» этот процесс выполняет специалист-технолог службы электрических режимов (СЭР). Специалист-технолог СЭР тратит большое количество времени на обработку результатов расчетов, поиск сечения АР и других параметров этого режима.

В связи с этим разработка инструмента, который позволит автоматизировать процессы при выборе параметров настройки устройств АЛАР,

является целесообразной. На основании этого сформированы цель и задачи работы.

Цель работы: Разработать программное обеспечение (ПО), позволяющее автоматически обрабатывать результаты расчетов переходных процессов с нарушением устойчивости для определения набора исходных данных, необходимых для выбора параметров настройки устройств АЛАР (участок расположения ЭЦК, сопротивление до ЭЦК, полное сечение АР, выделение группы генераторов, идущих с разными частотами, напряжение в узлах нагрузок и др.).

Задачи работы:

- Изучение методик выбора параметров настройки устройств АЛАР.
- Разработка технологического алгоритма обработки результатов расчетов переходных процессов с нарушением устойчивости для определения набора исходных данных, необходимых для выбора параметров настройки устройств АЛАР.
- Разработка модуля ПО, ответственного за обработку результатов расчетов электромеханических переходных процессов (ЭМПП).
- Разработка модуля ПО, ответственного за формирования исходных данных, необходимых для настройки устройств АЛАР.
- Разработка модуля ПО, ответственного за формирование отчета с исходными данными, необходимыми для настройки устройств АЛАР.

## **1 Описание и анализ предметной области**

В данном разделе рассматриваются методы и технические средства выполнения устройств АЛАР, а также методики выбора параметров настройки данных устройств.

### **1.1 Режимные характеристики АР и основные принципы его выявления**

Основным показателем устройства АЛАР является способ выявления АР, который характеризует его настройку, а также возможности устройства выявлять и выдавать управляющие воздействия на той или иной стадии АР. Все устройства должны соответствовать техническим требованиям, предъявляемым стандартом АО «СО ЕЭС» к устройствам АЛАР [2].

Устройства АЛАР должны удовлетворять следующим основным техническим требованиям:

1. Селективность (способность устройства отличить АР от режима нагрузки, синхронных качаний, коротких замыканий, выявления участка, на котором располагается ЭЦК, а также отстройки от АР в других сечениях).

2. Чувствительность (способность реагировать на изменение контролируемых параметров режима при АР в пределах защищаемого объекта).

3. Быстродействие (способность надёжно выявить и ликвидировать АР за время, при котором исключается дальнейшее развитие аварии).

4. Надёжность (способность сохранять работоспособность в различных схемно-режимных ситуациях; не действовать излишне и ложно).

5. Простота (возможная простота алгоритма функционирования и настройки устройства).

6. Универсальность (возможность применения на разных энергообъектах при различных конфигурациях сетей).

Для выполнения мероприятий по ликвидации АР в случае его возникновения устройства АЛАР должны формировать соответствующие управляющие воздействия, используя определенные способы выявления АР.

Все устройства АЛАР можно разделить по способу выявления АР на две группы:

1. Устройства, которые используют первичный признак АР, а именно угол между векторами ЭДС, несинхронно идущих энергосистем и разность частот (скольжение). Функционирование устройств основано на оценки тяжести возникающих возмущений и оценки расположения параметров процессов относительно области устойчивости [5]. В частности, для этого может использоваться граничная фазовая траектория в плоскости угол-скольжение для послеаварийного режима [6, 7]. Такие принципы применяются в устройствах АЛАР, используемых в Европе, США и Китае. Применяя повсеместно внедрённые устройства СВИ эти методы всё шире используются для предупредительного деления ЭЭС, чтобы следующее за возмущением возникновение АР в одной части ЭЭС не привело к АР в другой его части [8 – 13], а также для быстрого восстановления нормальной работы ЭЭС [11].

2. Устройства, которые используют вторичные признаки АР. В частности, изменение тока, напряжения, мощности и сопротивления на зажимах реле. Эти устройства позволяют определять место ЭЦК, знак скольжения и осуществлять подсчёт циклов АР.

Сегодня в операционной зоне (ОЗ) Филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири, в основном применяются устройства АЛАР использующие вторичные признаки и требующие для своей работы только локальной информации [14].

Первичным признаком нарушения устойчивости является нарастание угла сдвига фаз между эквивалентными ЭДС двух частей ЭЭС ( $\delta$ ), связанных линией электропередачи. Однако непосредственное его отслеживание технически сложно. Поэтому используются режимные параметры, которые можно измерить в узле, по изменению которых можно выявить АР.

Ток при АР периодически изменяется в зависимости от угла  $\delta$ . Отличительной чертой данной зависимости является ярко выраженный минимум и максимум тока. При СК максимальное значение тока меньше, чем

при АР, однако, взаимный угол при СК теоретически может достигать своего критического значения, поэтому распознать АР только по величине тока затруднительно. Выявить АР можно по длительности колебаний тока с периодом не более заданного и амплитудой тока, не менее заданной уставки.

Напряжение в асинхронном режиме периодически снижается вплоть до нуля (при  $\delta = 180^\circ$ ) в электрическом центре качаний (ЭЦК), при  $\delta = 0^\circ$  напряжение близко к рабочему. На рисунке 1.1 показано изменение векторов напряжения в двух точках линии при изменении угла  $\delta$ .

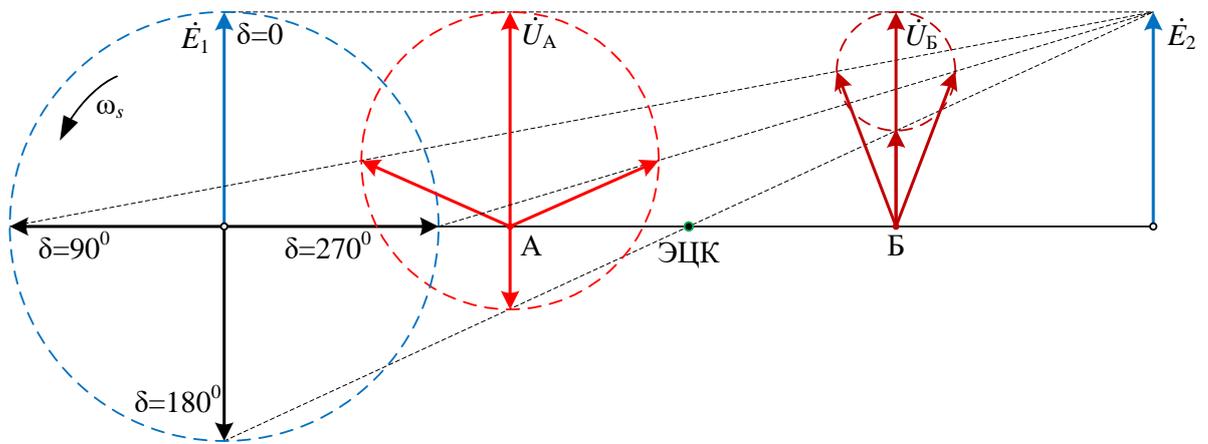


Рисунок 1.1 – Изменение векторов напряжения в двух точках линии при изменении угла  $\delta$

Как видно, векторы напряжений в точках, расположенных по разные стороны от ЭЦК, совершают относительно друг друга полные провороты (например,  $\dot{U}_A$  и  $\dot{E}_2$ ), а векторы напряжений в точках, лежащих по одну сторону от ЭЦК, совершают качания по фазе, не превышающие  $\pm 90^\circ$  (например,  $\dot{U}_B$  и  $\dot{E}_2$ ).

В ряде устройств АЛАР используется параметр, который определяется как отношения напряжения к току вместе установки устройства АЛАР, комплексного сопротивления на зажимах измерительных реле сопротивления. Если ЭЦК находится на линии, то абсолютная величина сопротивления  $\dot{Z}_p$ , замеряемые устройством АЛАР этой линии, при угле близком к  $180^\circ$  располагаются в верхней комплексной полуплоскости и будет меньше полного

сопротивления линии, а если он оказывается на участках сети за спиной, то в нижней полуплоскости. Экстремальные значения модуля вектора  $\dot{Z}_p$  наступают при  $\delta = 0^\circ$  (максимум) и  $\delta = 180^\circ$  (минимум).

## 1.2 Техническая реализация устройств АЛАР

В настоящее время на рынке представлено большое количество устройств АЛАР отечественных производителей, такие как: АЛАР МКПА (ООО «Прософт-Системы»), АЛАР-Ц (ОАО «НИИПТ», ООО «НПП Модус»), АЛАР-М (ОАО «ЭСП», ООО «Энергоизмеритель»), АЛАР КПА-М (ЗАО «ИАЭС»), АЛАРо (НПП ЭКРА). Наибольшее применение в ОЗ Филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири получили устройства АЛАР КПА-М.

Ранее были рассмотрены признаки выявления АР, которые используют устройства АЛАР. Стоит отметить, что устройства АЛАР разных производителей имеют различия не только с точки зрения методов выявления АР, а также с точки зрения общих подходов к реализации алгоритмов функционирования и к настройке устройств. Для выявления наилучших подходов к реализации устройства АЛАР далее будут рассмотрены алгоритмы функционирования устройств и проведен их сравнительный анализ.

К устройствам АЛАР по углу между векторами относятся: АЛАР-Ц (ОАО «НИИПТ», ООО «НПП Модус»), АЛАР-М (ОАО «ЭСП», ООО «Энергоизмеритель»); АЛАРо (НПП ЭКРА).

Принцип действия устройств данного типа основан на прямом признаке АР – возрастания угла сдвига фаз  $\delta$  (угол электропередачи) между векторами напряжений по концам контролируемого участка. Вектор напряжения в начале контролируемого участка формируется с помощью непосредственного замера. Вектор напряжения в конце контролируемого участка рассчитывается с помощью модели защищаемого объекта, а также тока и напряжения в начале. Определяется угол передачи, равный углу сдвига между векторами вычисленных напряжений  $\delta$  (угол передачи). По контролю угла  $\delta$  происходит функционирование алгоритма и выдача управляющих воздействий. Устройство

срабатывает при достижении разности моделируемых углов заданной уставки. Также устройство определяет знак скольжения асинхронно движущихся частей энергосистемы и прогнозирует дальнейшее развитие АР на основе граничных фазовых траекторий. Селективность действия основана на выявление попадания ЭЦК на контролируемый устройством участок при фиксации наличия АР в ЭЭС.

Устройства АЛАР по сопротивлению наиболее распространён в ОЗ Филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири и представлен следующими устройствами: АЛАР МКПА (ООО «Прософт-Системы»), АЛАР КПА-М (ЗАО «ИАЭС»).

Принцип действия устройств данного типа основан на контроле годографа вектора сопротивления. Для выявления АР устройство КПА-М и

МКПА анализируют характеристики годографа (траекторию) вектора  $Z_p = \frac{U_p}{I_p}$ ,

где  $U_p$  и  $I_p$  — комплексные значения напряжения и тока, измеряемые в контролируемом сечении в месте установки устройства. Годограф вектора сопротивлений анализируется в плоскости фазных сопротивлений.

В алгоритм функционирования устройства АЛАР на базе МКПА заложен дистанционно-угловой принцип. Устройство осуществляет контроль значения входного сопротивления сети в контролируемой точке передачи и мощности; скорость изменения входного сопротивления, также контролируется расположение ЭЦК, знак скольжения и длительность циклов АР.

Устройство АЛАР по сопротивлению анализируют характеристики годографа (траекторию) вектора сопротивления и сравнивают их с заданной характеристикой срабатывания в плоскости фазных сопротивлений.

Следует отметить, что устройства, имеющие один и тот же принцип действия, но разных производителей имеют свои особенности функционирования, которые описаны в руководстве по эксплуатации данных устройств.

### 1.3 Методика выбора уставок различных устройств АЛАР

Разработкой методических указаний по настройке и использованию устройств АЛАР в России занимаются организации, которые производят эти устройства (ООО «Прософт-Системы», ЗАО «ИАЭС», НПП ЭКРА и др.). Необходимо добавить, что не существует общепринятого подхода как к реализации устройства и принципа его функционирования, так и к его настройке. Настройка устройств АЛАР может требовать большого числа предварительных расчётов при различных возмущениях, в различных схемах и режимах, что является трудоемкой задачей и занимает много времени. В методических указаниях отражается рекомендуемый алгоритм настройки устройства в зависимости от его особенностей, а также рассматриваются различные типовые схемно-режимные ситуации, в которых может использоваться устройство, что упрощает процесс выбора уставок. При этом объём расчётов, а также необходимые исходные данные, могут отличаться.

Методики по расчетам параметров настройки устройств АЛАР, различных производителей, приведены в [15-19].

Исходя из рассмотрения принципов выполнения и методик расчета параметров настройки устройств АЛАР можно сделать следующие выводы:

1. Устройства АЛАР по углу между векторами напряжения:

- Требуют учета меньшего количества различных схемно-режимных ситуаций, так как ориентировано на учет параметров конкретного участка сети.
- Включают в себя функции блокировки устройств при КЗ и отстройки от СК.

Для устройств АЛАРо (НПП ЭКРА) предлагаются:

- Примеры расчётов уставок для различных структур защищаемого участка.
- Программный продукт для расчёта уставок.

## 2. Устройства АЛАР по сопротивлению:

– Отличаются необходимостью большого объёма расчётов на моделях электромеханических переходных процессов и выбора уставок с учётом различных схемно-режимных ситуациях.

В числе этих устройств МКПА дополнительно имеет логику прекращения развивающегося АР (при  $\delta < \delta_{кр}$ ) по фазовым траекториям «скольжение – угол». Предусмотрена отстройка от режимов СК

### **1.4 Программно-вычислительные комплексы для расчета переходных процессов в электроэнергетических системах**

Для выбора параметров настройки устройств АЛАР предварительно необходимо выполнить большой объём расчётов на моделях электромеханических переходных процессов. Для расчета переходных процессов в современной российской энергетике наиболее широко используются программно-вычислительные комплексы (ПВК) ПВК «Eurostag» [20, 21] и ПК «RUSTab» [22], ограниченное применение получили такие ПВК, как ПК PSS/NETOMAS [23], ПК «АНАРЕС» [24,25], ПК «Mustang» [26], ПК «ДАКАР» [27, 28]. Ниже приведено описание основного функционала ПВК, которые используются в филиалах АО «СО ЕЭС».

ПВК «Eurostag» был создан совместно Electricite de France, являющейся системным оператором энергосистемы Франции, и фирмой Tractebel – научно-техническим центром при системном операторе энергосистемы Бельгии. Программа предназначена для расчета электромеханических переходных процессов любой длительности – от долей секунды до часов. При этом точность расчета не зависит от продолжительности моделируемого переходного процесса, поскольку реализованный в ПВК «Eurostag» алгоритм интегрирования дифференциальных уравнений автоматически подбирает шаг интегрирования в соответствии с точностью, необходимой пользователю.

Основные задачи, решаемые ПВК «Eurostag», следующие:

- определение предельного времени отключения короткого замыкания;
- исследование процессов синхронизации энергосистем после крупных аварий;
- определение настроек для систем противоаварийного управления, устройств релейной защиты и автоматики;
- анализ причин возникновения и последствий аварийных возмущений в энергосистеме;
- анализ поведения энергосистемы при различных аварийных возмущениях (лавина напряжения, выпадение из синхронизма крупных электростанций и т. п.);
- разработка и настройка систем управления (регуляторы скорости турбин, АРВ генераторов, РПН трансформаторов и т. п.).

Для упрощения решения этих задач в ПВК было включено большое количество моделей различных устройств (в основном стандарта IEEE) управления и регулирования, передач и вставок постоянного тока, гибких электропередач переменного тока, котлов, турбин и т. п. Наряду с интегрированными в ПВК «стандартными» моделями в «Eurostag» реализована возможность создания моделей различных устройств с помощью специализированного инструмента – модуля графического программирования. Этот модуль позволяет создавать модели графически, то есть без набора программы и компиляции, с помощью набора стандартных блоков. Такой подход позволяет избежать большого количества ошибок, совершаемых при переводе блок-схем объектов моделирования на языки программирования.

ПК «Mustang» предназначен для выполнения расчетов по моделированию установившихся режимов энергосистем и электромеханических переходных процессов. ПВК разрабатывается с начала 80-х годов прошлого века. Наибольшую известность приобрела DOS-версия этого комплекса Mustang-95, которая поддерживалась и постоянно обновлялась вплоть до 1999 года, когда началась активная разработка Windows версии программы. Новая версия

программы, предназначенная для работы под управлением операционных систем семейства Windows, появилась в 2001 году, но ее доработка продолжалась вплоть до 2005 года. В 2005 году разработка данной программы была прекращена.

ПК «Mustang» предназначен для решения трех задач:

- расчетов установившихся режимов;
- расчетов электромеханических переходных процессов;
- определения предельных режимов по условиям сходимости

итерационного процесса расчета утяжеляемых режимов.

В настоящее время не применяется для расчетов в филиалах АО «СО ЕЭС».

ПВК «RastrWin» (RUSTab) был разработан ЗАО «Техсистем групп» для расчетов динамической устойчивости энергосистем.

Данные для расчета установившегося режима – информация по узлам, ветвям, полиномам статических характеристик нагрузки могут импортироваться в RUSTab из ПВК «RastrWin», ПК «Mustang», ПВК «Eurostag», а также из файлов в формате ЦДУ и PSS/E. Данные по генераторам для расчета переходных процессов могут импортироваться из ПК «Mustang» и ПВК «Eurostag». Возможен экспорт данных из RUSTab в формате ПВК «Eurostag».

В ПВК «RastrWin» (RUSTab) реализованы ряд моделей генераторов, от наиболее упрощенных (шины бесконечной мощности, постоянная ЭДС за постоянным сопротивлением) до моделей, в которых процессы описаны уравнениями Парка - Горева с учетом нескольких демпферных контуров по продольной и поперечной оси [22].

В таблице 1.1 приведен сравнительный анализ по основным компонентам, необходимых для реализации разрабатываемого ПО. Наиболее подходящем ПВК для программного обеспечения, разрабатываемого в рамках данной работы, и его функциональных возможностей, которые описаны в Приложение А, является ПВК «RastrWin» (RUSTab). Кроме того, в филиалах

АО «СО ЕЭС» планируется полный переход работы с ПВК «Eurostag» на ПВК «RastrWin» (RUSTab).

Таблица 1.1 –Сравнение программно-вычислительных комплексов

| Название ПВК      | Наличие следующих компонентов: |                                     |                  |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------------------|------------------|
|                   | среда программирования         | блок расчетов электрических режимов | графический блок |
| RastrWin (RUSTab) | +                              | +                                   | +                |
| EUROSTAG          | –                              | +                                   | +                |
| MUSTANG           | –                              | +                                   | –                |

Одной из наиболее значительных возможностей ПВК «RastrWin» (RUSTab) – доступ к расчётному ядру программы. Доступ к вычислительному ядру может быть осуществлён двумя путями: либо через макростудию путём написания скриптов на VBScript, либо через библиотеку ASTRALib (файл astra.dll). Первый вариант позволяет без особых усилий проводить многократные расчёты режима для решения прикладных задач. Второй вариант позволяет интегрировать мощный вычислительный аппарат ПВК «RastrWin» (RUSTab) в приложения, предназначенные для решения различных задач.

Библиотека ASTRALib, имеющая COM-интерфейс, может использоваться во многих современных языках программирования, таких как C#, Python и др. В совокупности с библиотеками визуализации, анализа, машинного обучения и другими, возможности такого использования практически не ограничены.

Использование библиотеки динамической компоновки astra.dll позволяет не только упростить создание специализированных программ, но и автоматизировать однотипную, рутинную работу. Кроме того, как показывает практика применения, скорость выполнения расчётов с использованием только вычислительного ядра на порядок, превышает скорость выполнения в программном комплексе, что позволяет значительно экономить вычислительные ресурсы [29].

Библиотека `ASTRALib.dll`, которая устанавливается вместе с ПВК «RastrWin» (RUSTab), находится в локальном каталоге программы. При написании кода для выполнения расчётов достаточно подключить к проекту библиотеку `ASTRALib.dll` (`using ASTRALib;`), а дальше реализовывать все функции ПО с использованием данной библиотеки.

### **Выводы**

На основе результатов проведенного анализа предметной области можно сделать следующие выводы:

1. Определены основные технические требования, предъявляемые к устройствам АЛАР: селективность, чувствительность, быстродействие, надежность, простота, универсальность. Способы выявления АР можно разделить на две группы: устройства, использующие первичные признаки АР (угол между векторами ЭДС, разность частот) и устройства, использующие вторичные признаки АР (изменение тока, напряжения, мощности, сопротивления). В ОЗ Филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири в основном применяют устройства АЛАР, которые используют вторичные признаки для выявления АР.

2. Исследована техническая реализация устройств АЛАР различных производителей. В ОЗ Филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири наибольшее применения получили устройства по сопротивлению АЛАР КПА – М, которые производятся ЗАО «ИАЭС».

3. Рассмотрены методики выбора параметров настройки устройств АЛАР различных производителей. Устройства АЛАР могут требовать большого числа предварительных расчетов при различных возмущениях, в различных схемах и режимах. Это является трудоемкой задачей и занимает много времени у специалиста СЭР. В соответствии с этим можно сделать вывод, что разработка ПО для автоматической обработки результатов расчета ЭМПП с нарушением устойчивости для определения набора параметров, необходимых для настройки устройств АЛАР, является актуальной задачей.

4. Для выбора параметров настройки устройств АЛАР используют различные ПВК, которые позволяют производить расчет ЭМПП. На основании проведенного анализа используемых ПВК в филиалах АО «СО ЕЭС» был выбран математический модуль ПВК «RastrWin» (RUStab), на основе которого реализовано ПО, позволяющее автоматически обрабатывать результаты расчетов ЭМПП с нарушением устойчивости для определения набора параметров, необходимых для настройки устройств АЛАР. Подключение к математическому модулю осуществляется с помощью библиотеки `ASTRALib.dll`.

## **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 ЭМПП и формирование набора параметров при возникновении АР. Кроме того, программное обеспечение должно быть совместим со всеми стандартными технологиями .NET, поставляемыми с операционными системами Windows.

Разрабатываемое ПО должно предоставлять следующие возможности:

- загрузка файлов с исходными данными;
- выбор исследуемых объектов;
- проверка на корректность входных данных;
- взаимодействие с математическим модулем ПВК RastrWin (RUSTab)

для выполнения расчета ЭМПП;

- фиксация возникновения АР;
- определение полного сечения АР;
- определение сопротивления до ЭЦК;
- определение группы генераторов, идущих с одной частотой;
- определение напряжения в узлах нагрузок;
- построение годографов сопротивления для выбранных объектов;
- формирование итогового отчета, который должен содержать набор параметров, характеризующий ЭМПП;

- сохранение файла итогового отчета в месте указанным пользователем.

В качестве требований к входным и выходным данным можно отметить следующие:

- Входные данные программы должны быть организованы в виде файлов динамики (\*.rst) и сценариев (\*.scn), подготовленных заранее в ПК RastrWin (RUSTab). Информация об исследуемом объекте представляет собой номера узлов начала и конца и задается целым числом. Система не должна хранить введенные данные для расчета между сеансами работами.

- Выходные данные программы должны быть организованы в виде файла итогового отчета (\*.xmlx), которые будет включать в себя рассчитанные параметры, а также годографы векторов сопротивления.

- Файлы указанных форматов должны храниться в доступных локальных или съемных носителях.

Система должна сохранять работоспособность и обеспечивать восстановление своих функций при возникновении следующих внештатных ситуаций:

1. при сбоях в системе электроснабжения аппаратной части, приводящих к перезагрузке ОС, восстановление программы должно происходить после перезапуска ОС и запуска исполняемого файла системы;

2. при ошибках, связанных с программным обеспечением (ОС и драйверы устройств), восстановление работоспособности возлагается на ОС.

Требования к временным характеристикам определяются общими требованиями к времени реакции интерактивных систем на запрос пользователя для обеспечения комфортной работы пользователя.

Работа программы не должна приводить к фатальным сбоям операционной системы.

Программа должна работать с входными данными, предусмотренными техническими требованиями, в соответствии с алгоритмом функционирования, выдавать сообщения об ошибках при неверно заданных исходных данных и

прочих нештатных ситуациях, поддерживать диалоговый режим в рамках предоставляемых пользователю возможностей.

Данные требования более подробно описаны в Приложении А.

## **2.2 Моделирование системы**

Моделирование систем применяется для того, чтобы результат деятельности системы соответствовал ожиданиям заказчика, а также для описания бизнес-процессов, которые необходимо автоматизировать. Моделирование информационных и программных систем позволяет сократить трудозатраты на «переделки», упростить передачу информации, сохранить все детали разработки, снизить время на погружение в проект новых участников.

Моделирование системы производилось с помощью программного обеспечения «Enterprise Architect» version 15.2.1557. Данный продукт обеспечивает полный набор инструментов визуального моделирования, вследствие чего позволяет получать высоконадежные и эффективные решения по проектированию автоматизированных систем.

Для описания бизнес-процессов применяется язык моделирования UML (англ. Unified Modeling Language — унифицированный язык моделирования), который позволяет описать ту или иную сторону модели.

В данной работе представлены следующие виды диаграмм:

- диаграмма вариантов использования (use case diagram);
- диаграмма деятельности (activity diagram);
- диаграмма взаимодействия (sequence diagram);
- диаграмма компонентов (component diagram);
- диаграмма классов (class diagram).

### **2.2.1 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 обеспечением, выступает актер, названный «Специалист СЭР». Данный актер соответствует основному пользователю системы – специалисту-технологу службы электрических режимов, пользующемуся функциональными возможностями ПО, связанными с формированием набора параметров при возникновении АР. В качестве второго актора выступает сама система, которая в качестве математического модуля для расчета ЭМПП использует ПВК RastrWin (RUStab).

Далее представлены пользовательские истории, как способ описания требований к разработанному ПО:

1. Как специалист-технолог СЭР, я могу выбрать файлы с исходными данными для последующего расчета ЭМПП.

2. Как специалист-технолог СЭР, я могу выбрать исследуемый объект для последующего расчета ЭМПП для это объекта.

3. Как специалист-технолог СЭР, я могу выбрать будет ли система определять сопротивление до ЭЦК.

4. Как специалист-технолог СЭР, я могу выбрать будет ли система определять полное сечение АР.

5. Как специалист-технолог СЭР, я могу выбрать будет ли система определять группы генераторов, идущих с одной частотой.

6. Как специалист-технолог СЭР, я могу выбрать будет ли система определять напряжения в узлах нагрузок.

7. Как специалист-технолог СЭР, я могу запустить расчет ЭМПП для определения факта возникновения АР и последующего формирования отчетов, а также построения годографов сопротивления.

8. Как специалист-технолог СЭР, я могу сохранить файлы отчетов, при которых возникает АР.

В таблицах 2.1 – 2.10 представлено описание вариантов использования, составленные на основании пользовательских историй, которые представлены выше.

Таблица 2.1 – ВИ: Загрузить подготовленные файлы

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Цель                    | Выбор предварительно подготовленных и сохраненных файлов динамики (*.rst) и сценариев (*.scn) для последующего расчета ЭМПП.   |
| Актеры                  | специалист-технолог СЭР  |
| Стейкхолдер             | СЭР АО «СО ЕЭС»  |
| Предварительные условия | Отсутствуют выбранные файлы и система не находится в режиме расчета  |
| Основной сценарий       | 1. Специалист-технолог СЭР инициировал выбор файла(ов);<br>2. Система предлагает выбрать необходимый файл(ы);<br>3. Специалист-технолог СЭР выбирает файл(ы);<br>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.<br>5. Система информирует пользователя об ошибке. Конец.   |

Таблица 2.2 – ВИ: Задать исследуемый объект

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Цель                    | Выбрать объект (номера узлов) для которого будут построены годографы.  |
| Актеры                  | специалист-технолог СЭР  |
| Стейкхолдер             | СЭР АО «СО ЕЭС»  |
| Предварительные условия | Система не находится в режиме расчета.   |
| Основной сценарий       | 1. Специалист-технолог СЭР ввод объекта исследования (номер узла);<br>2. Система фиксирует исследуемый объект. |

Таблица 2.3 – ВИ: Определить сопротивление до ЭЦК

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Цель                    | Выбор будет ли система определять сопротивление до ЭЦК.  |
| Актеры                  | специалист-технолог СЭР  |
| Стейкхолдер             | СЭР АО «СО ЕЭС»  |
| Предварительные условия | -  |
| Основной сценарий       | 1. Специалист-технолог СЭР инициировал выбор пункта определения сопротивления до ЭЦК;<br>2. Система фиксирует результат. |

Таблица 2.4 – ВИ: Определить полное сечение АР

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Цель                    | Выбор будет ли система определять полное сечение АР.   |
| Актеры                  | специалист-технолог СЭР  |
| Стейкхолдер             | СЭР АО «СО ЕЭС»  |
| Предварительные условия | -  |
| Основной сценарий       | 1. Специалист-технолог СЭР инициировал выбор пункта определения полного сечения АР;<br>2. Система фиксирует результат. |

Таблица 2.5 – ВИ: Определить группы генераторов, идущих с одной частотой

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Цель                    | Выбрать будет ли система определять группы генераторов, идущих с одной частотой.  |
| Актеры                  | специалист-технолог СЭР   |
| Стейкхолдер             | СЭР АО «СО ЕЭС»   |
| Предварительные условия | -   |
| Основной сценарий       | 1. Специалист-технолог СЭР инициировал выбор пункта определения группы генераторов, идущих с одной частотой;<br>2. Система фиксирует результат. |

Таблица 2.6 – ВИ: Определить напряжение в узлах нагрузок

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Цель                    | Выбрать будет ли система определять напряжение в узлах нагрузок   |
| Актеры                  | специалист-технолог СЭР   |
| Стейкхолдер             | СЭР АО «СО ЕЭС»   |
| Предварительные условия | -   |
| Основной сценарий       | 1. Специалист-технолог СЭР инициировал выбор пункта определения напряжения в узлах нагрузок;<br>2. Система фиксирует выбор. |

Таблица 2.7 – ВИ: Запустить расчет ЭМПП

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Цель                    | Запуск расчета ЭМПП.  |
| Актеры                  | специалист-технолог СЭР   |
| Стейкхолдер             | СЭР АО «СО ЕЭС»   |
| Предварительные условия | Выполнены ВИ «Загрузить подготовленные файлы».  |
| Основной сценарий       | 1. Специалист-технолог СЭР инициирует расчет;<br>2. Система инициирует расчет.                                      |
| Альтернативные сценарий | Предусловие: На шаге 2 основного сценария произошла ошибка<br>3. Система информирует пользователя об ошибке. Конец. |

Таблица 2.8 – ВИ: Зафиксировать АР

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Цель                    | Определение факта возникновения АР.   |
| Актеры                  | система   |
| Стейкхолдер             | СЭР АО «СО ЕЭС»   |
| Предварительные условия | Выполнены ВИ «Запустить расчет ЭМПП», расчет закончен.  |
| Активаторы              | Завершение процесса расчета ЭМПП.   |
| Основной сценарий       | 1. Система информирует пользователя о том, что при заданных условиях возник АР.   |
| Альтернативные сценарий | Предусловие: Расчет закончен без возникновения АР.<br>1. Система информирует пользователя о том, что при заданных условиях АР не возник. Конец. |

Таблица 2.9 – ВИ: Построить годографы сопротивления для выбранных объектов

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Цель                    | Построение годографов сопротивления для выбранных объектов.  |
| Актеры                  | система  |
| Стейкхолдер             | СЭР АО «СО ЕЭС»  |
| Предварительные условия | Выполнены ВИ «Зафиксировать АР», ВИ «Задать исследуемый объект».   |
| Активаторы              | Зафиксирован факт возникновения АР.  |
| Основной сценарий       | 1. Система строит годограф сопротивления для выбранного объекта;<br>2. Система информирует пользователя о том, что годографы сопротивления для выбранных объектов построены. |

Таблица 2.10 – ВИ: Сформировать итоговый отчет

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Цель                    | Формирование итогового отчета (*.xlsx) при возникновении АР.   |
| Актеры                  | система  |
| Стейкхолдер             | СЭР АО «СО ЕЭС»  |
| Предварительные условия | Выполнены ВИ «Зафиксировать АР»  |
| Активаторы              | Зафиксирован факт возникновения АР   |
| Основной сценарий       | 1. Система формирует и сохраняет итоговый отчет (*.xlsx), который содержит информацию о выбранных пользователем параметров расчета;<br>2. Система информирует пользователя о том, что итоговый отчет сохранен. |

Диаграмма вариантов использования представлена на рисунке 2.1.

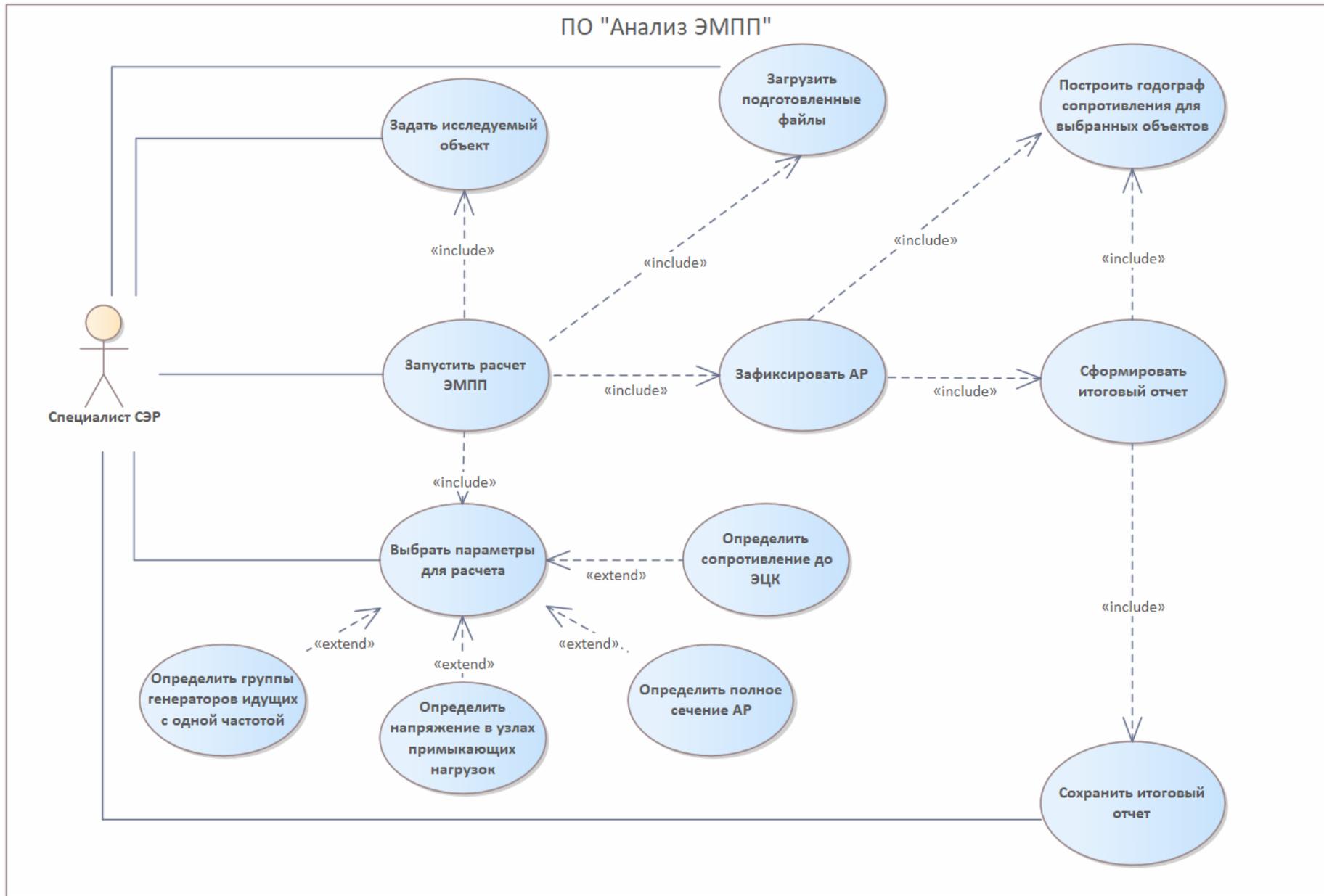


Рисунок 2.1 – Диаграмма вариантов использования

## 2.2.2 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 с закруглениями — 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 выше, основной целью разрабатываемого ПО является автоматическое обнаружение АР и формирование набора параметров при его возникновении. Для достижения данной цели разработан алгоритм, представленный в виде диаграммы деятельности, которая описывает последовательность основных действий ПО, рисунок 2.2.

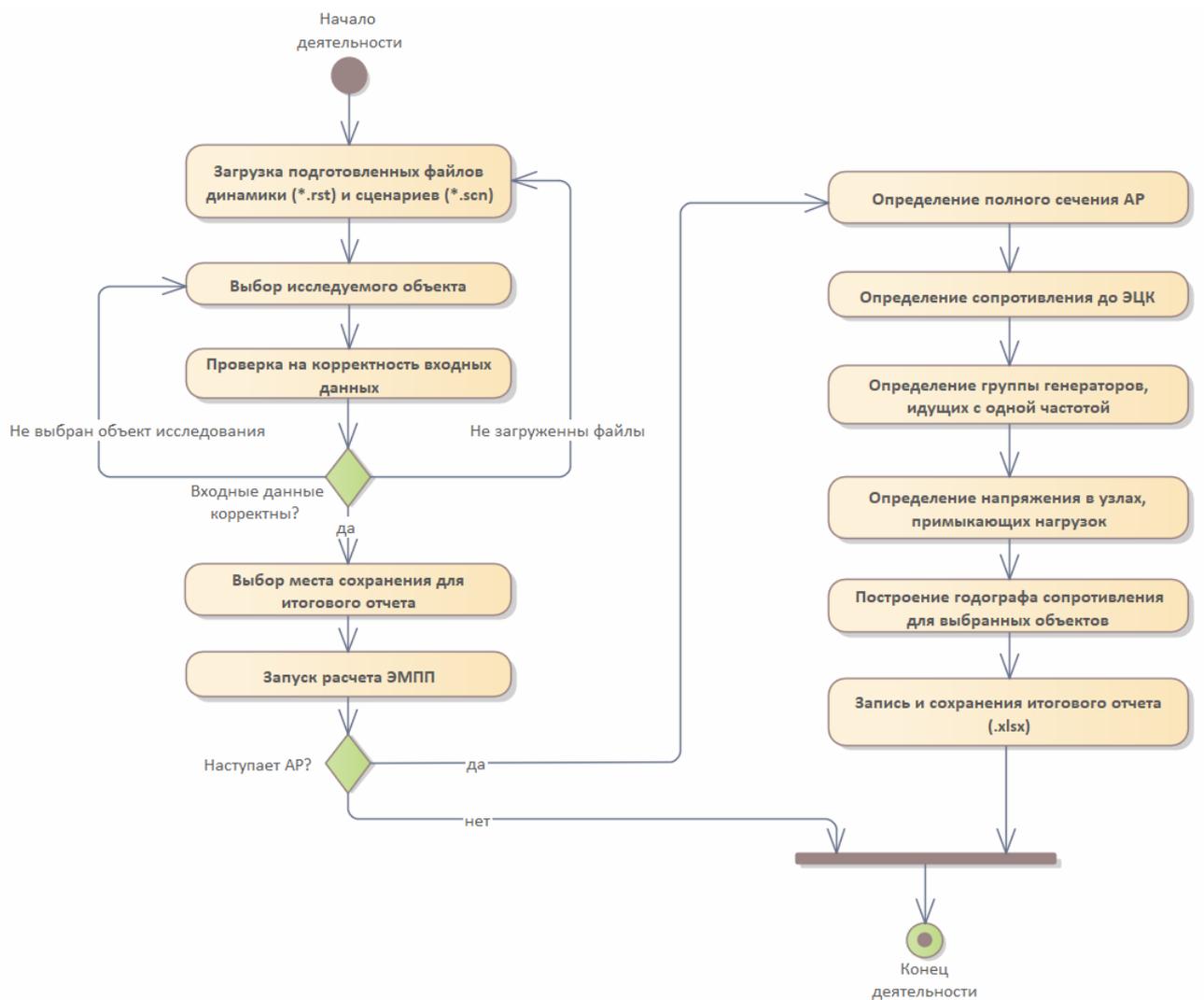


Рисунок 2.2 – Диаграмма деятельности

### 2.2.3 Диаграмма взаимодействия

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

На рисунке 2.3 представлена диаграмма последовательности.

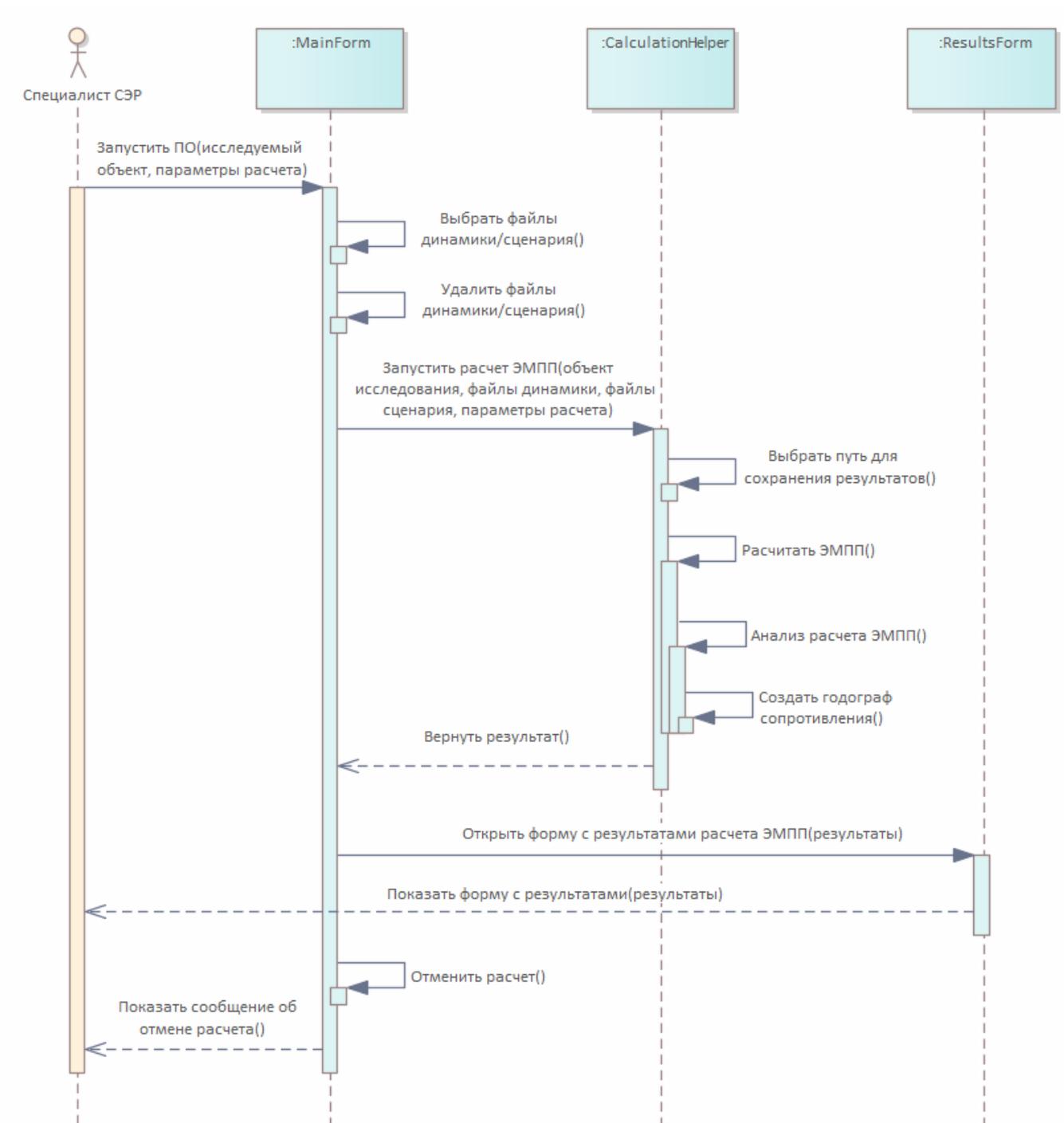


Рисунок 2.3 – Диаграмма последовательности

После запуска программы специалист СЭР загружает предварительно подготовленные файлы, вводит информацию об исследуемом объекте и выбирает параметры расчета ЭМПП. После того, как входные данные введены специалист СЭР запускает расчет ЭМПП. Далее производится расчет ЭМПП. На основании проведенного расчета определяется факт возникновения или не возникновения асинхронного режима. При определении факта асинхронного

режима производится анализ расчета ЭМПП в соответствии с выбранными параметрами расчета. Рассчитанные параметры записываются в файл и сохраняются. Результаты расчета ЭМПП отображаются на форме вывода результата. Можно отменить расчет после его запуска.

### **2.3 Архитектура программного обеспечения**

Архитектура ПО, позволяющего автоматически обрабатывать результаты расчетов переходных процессов с нарушением устойчивости для определения набора параметров, необходимых для настройки устройств АЛАР, является однозвенной и включает в себя клиентское приложение «Windows Forms».

Клиентское приложение – интерфейсный компонент, приложение для конечного пользователя, которое обеспечивает взаимодействие пользователя с ПО 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 2.4 представлена диаграмма компонентов разработанного ПО. 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;
- представления концептуальной и физической схем баз данных (при наличии).

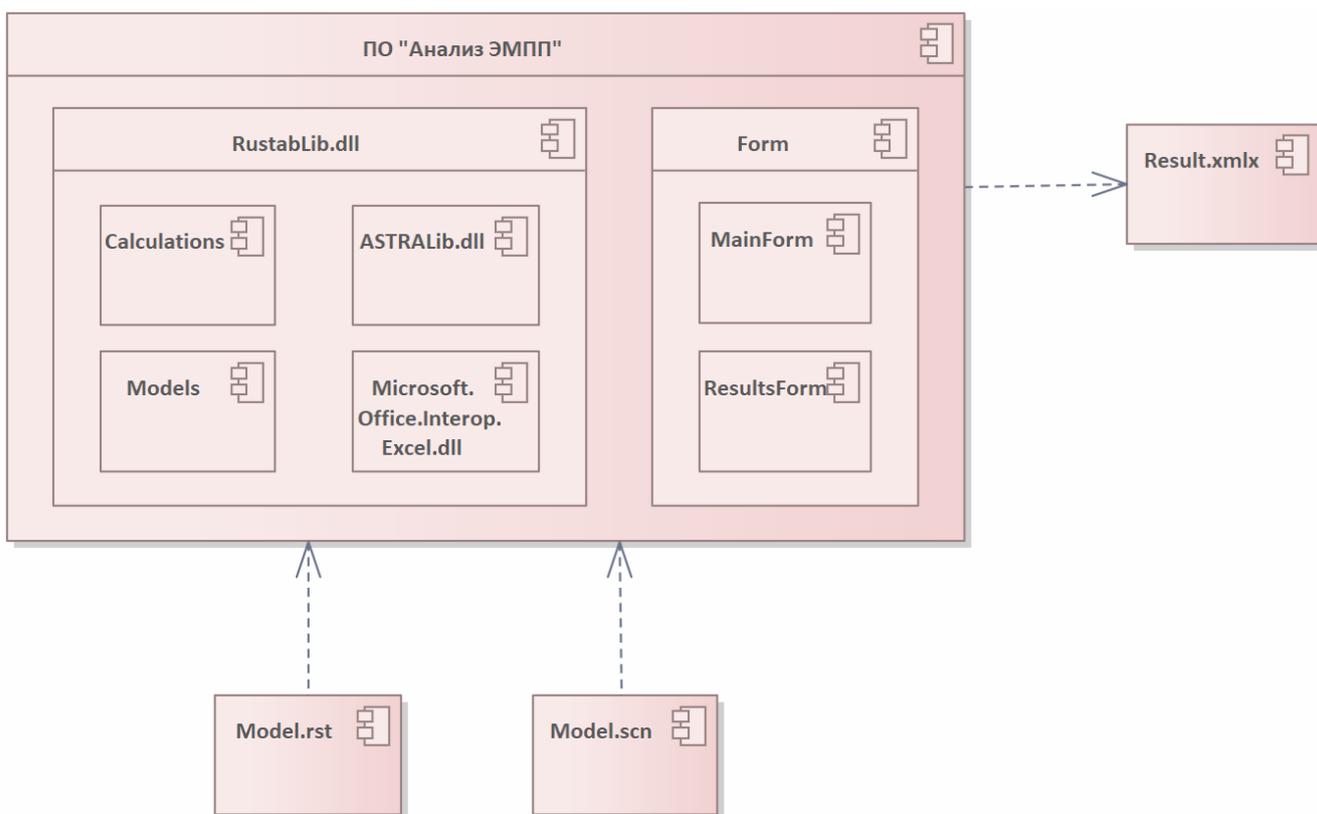


Рисунок 2.4 – Диаграмма компонентов

В таблице 2.11 приведено краткое описание компонентов архитектуры разработанного ПО.

Таблица 2.11 – Описание компонентов архитектуры ПО

| Компонент                          | Описание  |
|------------------------------------|---|
| RustabLib.dll                      | Библиотека классов, содержащая в себе описание основных элементов расчетных моделей, а также методов работы с ними.                                       |
| ASTRALib.dll                       | Библиотека, которая предоставляет доступ к вычислительному ядру ПВК «RastrWin» (RUSTab) .   |
| Form                               | Графические интерфейсы пользователя для ввода исходных данных и вывода результатов.   |
| Microsoft.Office.Interop.Excel.dll | Библиотека для работы с файлами программы Microsoft Excel. Заполнение таблиц, построения графиков. Содержит множество различных типов функций построения. |
| Model.rst                          | Файлы динамики (*.rst), хранят данные для расчета установившегося режима и данные по генераторам. Должны быть подготовлены в ПВК RastrWin (RUSTab).       |
| Model.scn                          | Файлы сценариев (*.scn), которые хранят данные по автоматике и сценарию переходного процесса. Должны быть подготовлены в ПВК «RastrWin» (RUSTab).         |
| Result.xmlx                        | Файл на базе расширяемого языка разметки XMLX. Применяется для сохранения итогового отчета.   |

## 2.4 Макет интерфейса пользователя

Проектирование интерфейсов пользователя является важной составной частью процесса разработки программного обеспечения. 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.

На рисунке 2.5 представлен макет интерфейса пользователя главного окна ПО, которое анализирует расчет ЭМПП. Интерфейс пользователя представляет собой главное окно локального приложения для ОС Windows.

Элементы главного окна ПО позволяют реализовать:

- Ввод номер узла начала и конца объекта исследования;
- Выбор параметров расчета ЭМПП;
- Выбор и удаление файлов режима и сценария;
- Запуск и отмена расчета.

На рисунке 2.6 представлено окно результатов расчета, на котором отражается краткая информация о результатах расчета ЭМПП и кнопка для

открытия файла с итоговым отчетом для выбранной пары файлов динамики и сценария.

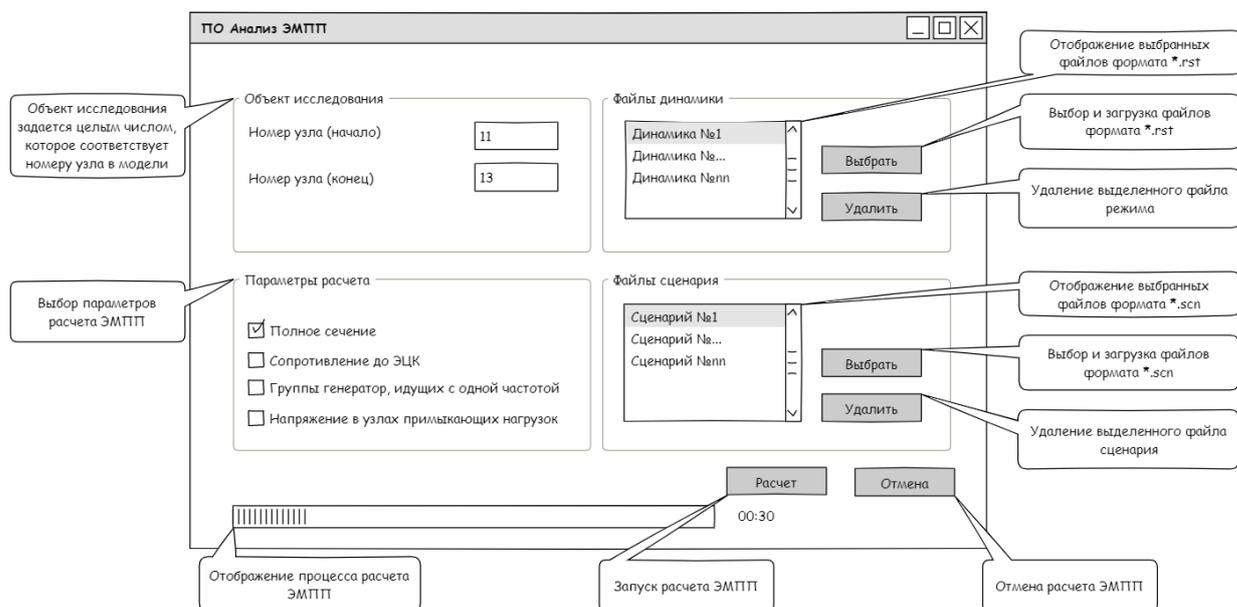


Рисунок 2.5 – Главное окно ПО «Анализ ЭМПП»

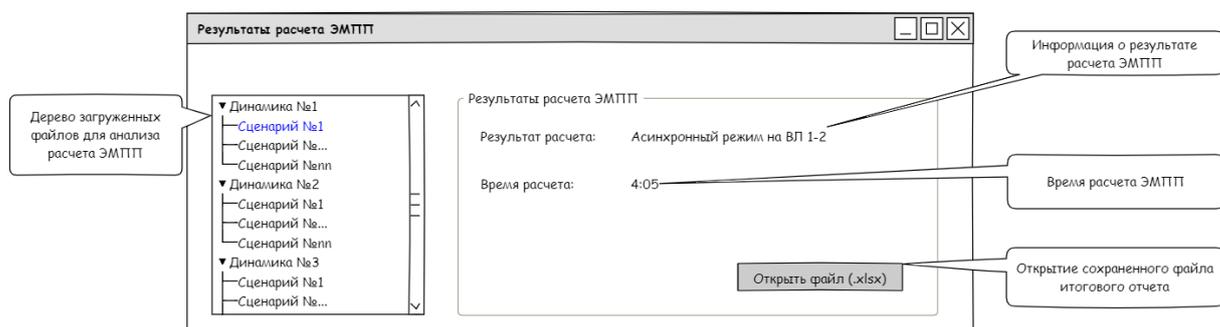


Рисунок 2.6 – Окно «Результаты расчета ЭМПП»

## 2.5 Диаграмма классов

В данном разделе представлена диаграмма классов, которая позволяет продемонстрировать статическую структуру разработанного программного обеспечения, описывая классы, их атрибуты, методы и отношение между объектами. Класс представляет собой шаблон для создания объектов, который описывает набор объектов с одинаковыми атрибутами, операциями, связями и семантикой. Атрибуты представляют собой свойство класса, описывающее диапазон значений, которые может принимать экземпляр атрибута. В качестве методов подразумеваются функции, описанные в теле класса. В UML

представлены следующие виды отношений: ассоциация, наследование, реализация зависимость, агрегация, композиция.

Диаграмма классов для разработанного ПО и ее описание приведены в Приложение Б.

### **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 и анализа ЭМПП. Более подробно требования к разработанному ПО описаны в Приложение А.

2. В качестве инструмента для моделирования ПО использовано ПО «Enterprise Architect» version 15.2.1557. Для описания бизнес-процессов применялся язык UML.

3. Разработана диаграмма вариантов использования на основании пользовательских историй. Основным актором, взаимодействующий с ПО, 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. ПО состоит из двух окон. Главное окно ПО позволяет ввести исходные данные и запустить или остановить расчет ЭМПП. Окно результатов содержит краткую информацию по результатам расчета ЭМПП и кнопку для быстрого перехода на файл отчета. В качестве инструмента разработки использована программа для создания прототипа графического интерфейса пользователя «Pencil».

8. Спроектирована диаграмма классов, которая иллюстрирует структуру разработанного ПО, описывая классы, их атрибуты, методы и отношения между объектами. Диаграмма и ее описание приведены в Приложение Б.

### **3 Программная реализация**

#### **3.1 Выбор и обоснование технологий обработки информации**

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», где установлена ОС Windows, 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. Обеспечения среды выполнения кода, минимизирующей конфликты при развертывании программного обеспечения и управлении версиями.
3. Обеспечения среды выполнения кода, гарантирующей безопасное выполнение кода, включая код, созданный неизвестным или не полностью доверенным сторонним изготовителем.
4. Обеспечения среды выполнения кода, исключаящей проблемы с производительностью сред выполнения сценариев или интерпретируемого кода.
5. Обеспечения 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 программного модуля 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/отмены расчета, а именно:

- ввод информации по объекту исследования (узел начала и конца ветви);
- выбор параметров, которые будут определяться, в случае если при расчете ЭМПП будет зафиксирован AP;
- выбор файлов динамики и сценариев;
- удаление загруженных файлов динамики и сценариев;
- запуск расчета ЭМПП;
- отмена расчета ЭМПП.

2. Окно результатов расчета ЭМПП. Окно результатов расчета ЭМПП позволяет просмотреть краткую информацию по выполненным расчетам и открыть файл с отчетом из формы.

Основным языком программирования выбран C#. 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.

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 ЭМПП

Для использования математического модуля ПБК «RastrWin» (RUSTab) необходимо подключить библиотеку ASTRALib.dll, которая устанавливается вместе с ПБК «RastrWin» (RUSTab) и находится в локальном каталоге программы.

Подключение пространства имен:

```
using ASTRALib;
```

Доступ к расчетным функциям можно получить через интерфейс FWDynamic.

Пример кода:

```
// Привязываемся к Rastr  
var rastr = new Rastr();  
FWDynamic FWDynamic = rastr.FWDynamic();
```

Метод Run() – позволяет запустить расчёт ЭМПП. Результаты расчета сохраняются в файлы \*.sna, в соответствии с заданными настройками в параметрах динамики.

Пример кода:

```
// Запуск расчета динамики  
FWDynamic.Run();
```

Метод RunEMSMode() – позволяет запустить расчет ЭМПП в режиме EMS-приложения, при этом результаты расчета не сохраняются и контролируемые величины не рассчитываются. Процесс расчета прекращается при потере синхронизма. После завершения расчета можно проанализировать результаты с помощью свойств SyncLossCause, TimeReached и ResultMessage.

Пример кода:

```
// Запуск расчета динамики в режиме EMS-приложения  
FWDynamic.RunEMSmode();
```

Свойство SyncLossCause позволяет вернуть результат расчета ЭМПП в EMS-режиме. Существует четыре возвращаемых значения:

– SYNC\_LOSS\_NONE = 0 – Расчет завершен успешно, потери синхронизма не выявлено.

- SYNC\_LOSS\_BRANCHANGLE = 1 – Выявлено превышение угла по ветви значения 180°.
- SYNC\_LOSS\_COA = 2 – Выявлено превышение угла по сопротивлению генератора значения 180°.
- SYNC\_LOSS\_OVERSPEED = 4 – Выявлено превышение допустимой скорости вращения одного или нескольких генераторов. Допустимая скорость вращения задается уставкой автомата безопасности в настройках динамики.

Свойство TimeReached позволяет вывести время достигнутого в расчете ЭМПП в EMS-режиме.

Свойство ResultMessage позволяет вывести сообщение о результатах расчета в EMS-режиме, которое выводится в протоколе.

Пример кода для получения результатов расчета в EMS-режиме:

```
//Результаты расчета ЭМПП в EMS-режиме
switch (FWDynamic.SyncLossCause)
{
    case DFWSyncLossCause.SYNC_LOSS_NONE:
        calcResult.ResultMessage =
            "Потери синхронизма не выявлено";
        break;
    case DFWSyncLossCause.SYNC_LOSS_COA:
        calcResult.ResultMessage = string.Format("Выявлено " +
            "превышение угла по сопротивлению генератора " +
            "значения 180° в {0}", FWDynamic.TimeReached);
        break;
    case DFWSyncLossCause.SYNC_LOSS_BRANCHANGLE:
        calcResult.ResultMessage = string.Format("Выявлено " +
            "превышение угла по ветви значения 180° в {0}",
            FWDynamic.TimeReached);
        break;
    case DFWSyncLossCause.SYNC_LOSS_OVERSPEED:
        calcResult.ResultMessage = string.Format("Выявлено " +
            "превышение допустимой скорости вращения " +
            "генератора в {0}", FWDynamic.TimeReached);
        break;
}
```

### 3.3 Доступ к результатам расчета

В процессе расчета ЭМПП ПК «RUSTab» записывает результаты в файлы \*.sna. Доступ к результатам организован по именам таблиц и названиям

параметров. Объект расчетной модели, для которого требуется получить результат, задается индексом в базе данных ПК «RUSTab».

Доступ к результатам расчета предоставляет метод `GetChainedGraphSnapshot()`. Параметры метода:

- `Table` – системное название таблицы;
- `Field` – системное название поля в таблице `Table`;
- `nIndex` – порядковый номер объекта в таблице `Table` (от нуля);
- `SnapshotFileIndex` – порядковый номер файла результатов в списке файлов результатов (от нуля).

Индекс объекта по известным ключам можно получить с помощью методов `SetSel/ FindNextSel`.

Метод `SetSel()` позволяет задать выборку. Выборка задается в виде формулы, имеющей логическое значение: 0 – не в выборке, 1 – в выборке.

Метод `FindNextSel()` находит строку, подпадающую под текущую выборку, поиск строки начинается с некоторой заданной позиции в таблице

Метод `Item()` возвращает нужный элемент выбранной коллекции.

Пример кода для получения данных из файла результатов расчета ЭМПП:

```
/// <summary>
/// Получить лист с изменяющимся параметром из снимота Растра
/// </summary>
/// <param name="rastr">Снимот из Растра</param>
/// <returns>Лист с параметром</returns>
public static List<Node> GetNodesFromRastr(Rastr rastr)
{
    List<Node> parameter = new List<Node>();

    table nodeTable = (table)rastr.Tables.Item("node");
    col nodeName = (col)nodeTable.Cols.Item("name");
    col nodeNumber = (col)nodeTable.Cols.Item("ny");
    col pn = (col)nodeTable.Cols.Item("pn");

    nodeTable.SetSel("pn>0");
    int index = nodeTable.FindNextSel[-1];
    for (int i = 0; i < nodeTable.Count; i++)
    {
        var node = new Node(nodeName.get_Z(index),
            nodeNumber.get_Z(index),pn.get_Z(index));

        var deltaResultU = rastr.GetChainedGraphSnapshot
```

```

        ("node", "vras", index, 0);
    if (deltaResultU is double[,] resultArrayU)
    {
        node.U = resultArrayU[resultArrayU.
            GetUpperBound(0), 0];
    }
    parameter.Add(node);
    index = nodeTable.FindNextSel[index];
}

return parameter;
}

```

### 3.4 Запись результатов

В соответствии с ТЗ необходимо записывать результаты анализа расчета ЭМПП, в которых был выявлен факт возникновения АР, в файлы Excel. Для создания файлов Excel, записи в них результатов, а также построения годографов сопротивления 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 создания диаграммы:

```

/// <summary>
/// Создание годографа сопротивления
/// </summary>
private static void CreateChart(Excel.Worksheet worksheet,
    dynamic range)

```

```

{
    //Добавить график
    var charts = worksheet.ChartObjects() as
        Microsoft.Office.Interop.Excel.ChartObjects;
    var chartObject = charts.Add(60, 10, 300, 300) as
        Microsoft.Office.Interop.Excel.ChartObject;
    var chart = chartObject.Chart;

    // Установить диапазон графика
    chart.SetSourceData(range);

    // Установить свойства графика
    chart.ChartType = Microsoft.Office.Interop.Excel.XlChartType.
        xlXYScatterLines;
    chart.ChartWizard(Source: range,
        Title: "Годограф",
        CategoryTitle: "R",
        ValueTitle: "X");
}

```

### 3.5 Пользовательский интерфейс

ПО имеет две экранные формы, позволяющие работать с исходными данными, запускать и отменять расчет ЭМПП, демонстрировать результаты расчета и открывать сохраненный файл отчета при фиксации возникновения АР.

На рисунке 3.1 представлен внешний вид главного окна.

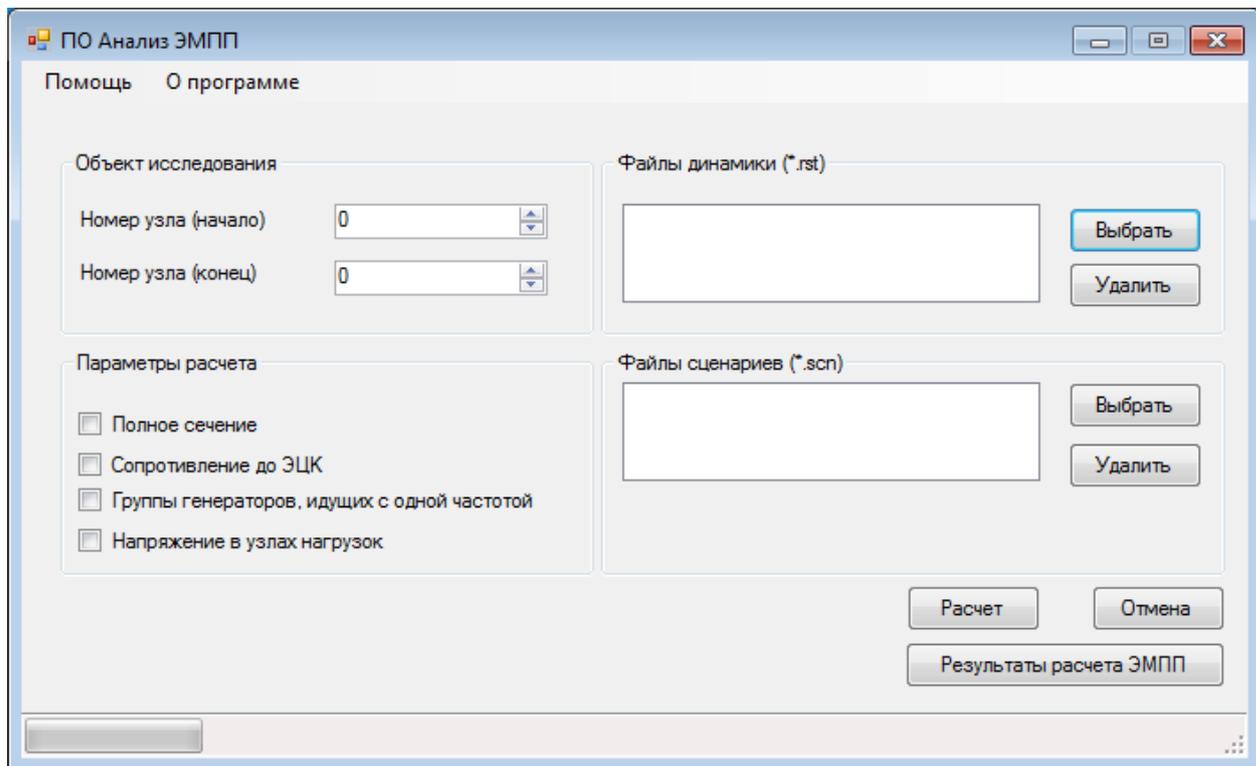


Рисунок 3.1 – Главное окно

В таблице 3.1 представлены элементы управления главного окна.

Таблица 3.1– Элементы управления главного окна

| №   | Элемент управления      |   | Описание   |
|-----|-------------------------|---|--|
| 1.  | Помощь                  |   | Кнопка для открытия справки: руководство пользователя, руководство администратора                  |
| 2.  | О программе             |   | Кнопка для вывода информации о версии программы и контактных данных разработчика                   |
| 3.  | Объект исследования:    |   | Контейнер для группировки информации об исходных данных для объекта исследования                   |
|     | 1.                      | Номер узла(начало)                          | Поле ввода номера начала ветви (целое число)   |
|     | 2.                      | Номер узла (конец)                          | Поле ввода номера конца ветви (целое число)  |
| 4.  | Параметры расчета:      |   | Контейнер для группировки информации о параметрах расчета ЭМПП при фиксации факта возникновения АР |
|     | 1.                      | Полное сечение                              | Флаговая кнопка для выбора определения полного сечения   |
|     | 2.                      | Сопротивление ЭЦК                           | Флаговая кнопка для выбора определения сопротивления до ЭЦК  |
|     | 3.                      | Группы генераторов, идущих с одной частотой | Флаговая кнопка для выбора определения группы генераторов, идущих с одной частотой                 |
|     | 4.                      | Напряжение в узлах нагрузок                 | Флаговая кнопка для выбора определения напряжения в узлах нагрузки                                 |
| 5.  | Файлы динамики (*.rst)  |   | Контейнер для группировки информации о файлах динамики   |
|     | 1.                      | Список файлов динамики                      | Область для отображения и выделения файлов динамики  |
|     | 2.                      | Выбрать                                     | Кнопка для выбора файлов динамики  |
|     | 3.                      | Удалить                                     | Кнопка для удаления файлов динамики  |
| 6.  | Файлы сценариев (*.scn) |   | Контейнер для группировки информации о файлах сценариев  |
|     | 1.                      | Список файлов сценариев                     | Область для отображения и выделения файлов сценария  |
|     | 2.                      | Выбрать                                     | Кнопка для выбора файлов сценариев   |
|     | 3.                      | Удалить                                     | Кнопка для удаления файлов сценариев   |
| 7.  | Расчет                  |   | Кнопка для запуска расчета ЭМПП  |
| 8.  | Отмена                  |   | Кнопка для отмены расчета ЭМПП   |
| 9.  | Результаты расчета ЭМПП |   | Кнопка для перехода в окно «Результаты расчета ЭМПП»   |
| 10. | Индикатор процесса      |   | Панель для отображения процесса расчета ЭМПП   |

На рисунке 3.2 представлен внешний вид окна результаты расчета ЭМПП. Это окно появляется после выполнения расчета ЭМПП и записи результатов в файл отчета.

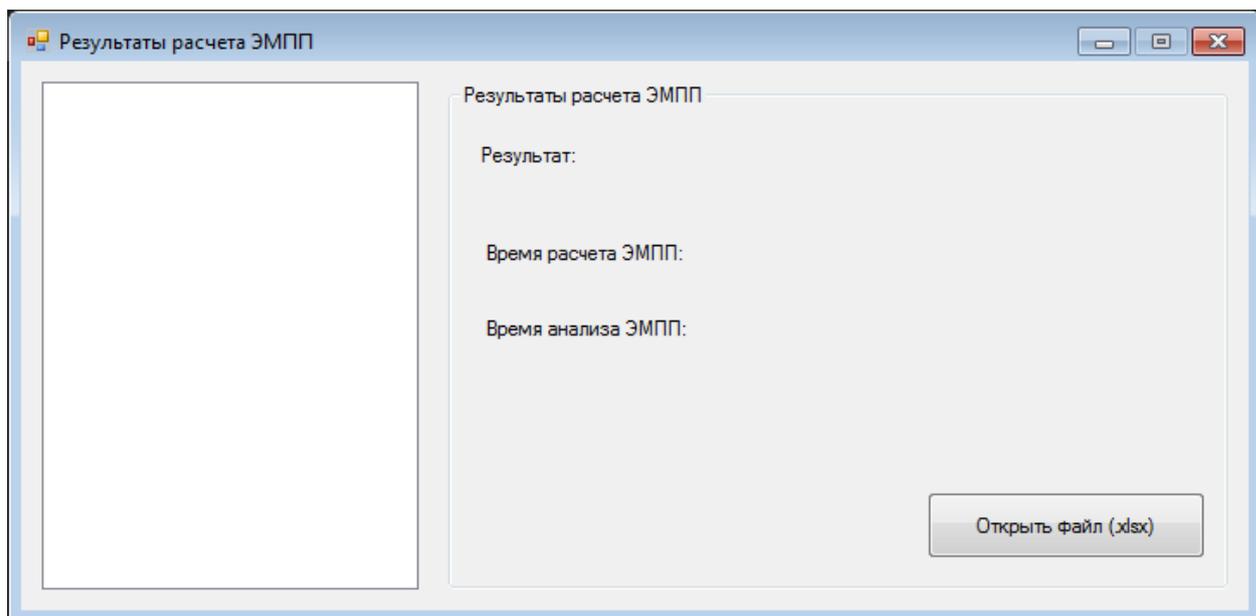


Рисунок 3.2 – Окно «Результаты расчета ЭМПП»

В таблице 3.2 представлены элементы управления окна результатов расчета ЭМПП.

Таблица 3.2– Элементы управления главного окна

| №  | Элемент управления      | Описание  |
|----|-------------------------|---|
| 1. | Список-дерево           | Список файлов динамики и сценариев для которых был произведен расчет ЭМПП   |
| 2. | Результат расчета ЭМПП  | Контейнер для группировки информации о результатах расчета ЭМПП: факт возникновения/не возникновения АР, время расчета. |
| 2. | 1. Открыть файл (.xlsx) | Кнопка для открытия файла с отчетом   |

## 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 ПВК «RastrWin» (RUStab). Библиотека содержит методы и свойства для расчета ЭМПП.

5. Доступ к результатам расчета ЭМПП производился с помощью метода `GetChainedGraphSnapshot()`.

6. Запись результатов анализа расчета ЭМПП при выявлении факта возникновения АР осуществляется в файлы Excel с помощью библиотеки `Microsoft.Office.Interop.Excel`.

7. В соответствии с РД 50-34.698-90 разработаны руководство пользователя и руководство администратора, которые представлены в Приложение В.

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

### **5.1 Введение**

Экономическая эффективность, экономическая привлекательность, коммерческий потенциал и ресурсоэффективность являются важными факторами для оценки научно-исследовательского проекта. В рамках данной выпускной квалификационной работы (ВКР) разрабатывается программное обеспечение (ПО) для автоматической обработки результатов расчетов переходных процессов с нарушением устойчивости.

В данном разделе представлена оценка перспективности, эффективности и целесообразности проведения научного исследования посредством качественного анализа исследования, а также проведение временного и экономического планирование исследовательской работы.

Потенциальными потребителями результатов, полученных при выполнении ВКР, могут стать АО «СО ЕЭС», собственники энергообъектов, а также предприятия, разрабатывающие и производящие устройства противоаварийной автоматики.

### **5.2 Предпроектный анализ**

#### **5.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

В рамках анализа потребителей необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Сегментом рынка в данном случае является электроэнергетика, а критериями сегментирования:

- Отрасль: энергетика;
- Определенная услуга: разработка программного обеспечения для автоматической обработки результатов расчетов переходных процессов с нарушением устойчивости.

Карта сегментирования рынка приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка

|  |   | Административно хозяйственное деление ЕЭС |   |                                 |   |                       |
|--|---|---|---|---------------------------------|---|-----------------------|
|  |   | Оптовые генерирующие компании (ОГК)       | Территориальные генерирующие компании (ТГК) | Распределительные компании (РК) | Компании, занимающие оперативно-диспетчерским управлением | Сетевые компании (СК) |
| Условия бесперебойного энергоснабжения потребителя | Строительство электростанции  | x   |   |                                 |   |                       |
|  | Строительство подстанций  |   |   | x                               |   | x                     |
|  | Выбор схем системообразующей сети   |   |   |                                 | x   | x                     |
|  | Выбор схем распределительной сети   |   |   | x                               |   | x                     |
|  | Строительство и техническое обслуживание линий электропередач                       |   |   | x                               |   | x                     |
|  | Управление режимами электрической сети  |   |   |                                 | x   |                       |
|  | Проведение семинаров для повышения качества обслуживающего персонала                | x   | x   | x                               | x   | x                     |
|  | Выбор противоаварийной автоматики   |   |   |                                 | x   |                       |
|  | Обеспечение механизмов оптового и розничных рынков электрической энергии и мощности | x   | x   |                                 | x   |                       |

Как видно из карты сегментирования, наиболее задействованы в обеспечении бесперебойного электроснабжения потребителей следующие энергетические компании: сетевые компании (например, ПАО «ФСК ЕЭС») и компании, занимающиеся оперативно-диспетчерским управлением (АО «СО ЕЭС»). Проекты по реализации противоаварийной автоматики, необходимы для предотвращения системных аварий, обеспечения надежности энергетической системы. Стоит отметить, что основным сегментом рынка, рассматриваемого в рамках ВКР, являются компании, занимающиеся оперативно-диспетчерским управлением энергосистемы.

### **5.2.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Данный анализ технических решений позволяет наиболее полно измерить характеристики, описывающие качество новой разработки и её перспективы развития и внедрения.

Проведем оценку исследования по следующим группам критериев:

#### **1. Технические критерии оценки качества разработки:**

- повышение производительности труда пользователя;
- удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей);
- функциональная мощность;
- надёжность;
- простота эксплуатации;
- качество пользовательского интерфейса.

#### **2. Экономические критерии оценки эффективности разработки:**

- конкурентоспособность решения;
- перспективность решения;
- затраты на внедрение;
- финансовая эффективность научной разработки;
- срок внедрения.

Оценочная карта технологии, представленная в таблице 5.2, позволяет вносить коррективы в научное исследования, так как учитывают его конкретные

технические и экономические особенности разработки, создания и коммерциализации.

Предлагаемое решение невозможно сравнить с другими. В связи с этим, максимальный балл характеризует полное выполнение того или иного показателя. Технические критерии определены согласно требованиям предъявляемых к разработке данного программного обеспечения. Экономические критерии определены согласно финансовым возможностям, а также актуальностью и стадией готовности технического решения.

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

| Критерии оценки   | Вес критерия | Балл  |       | Конкурентоспособность        |                                 |
|---|--------------|-------|-------|------------------------------|---------------------------------|
|   |              | Факт. | Макс. | Относительное значение (3/4) | Средневзвешенное значение (5x2) |
| 1   | 2            | 3     | 4     | 5                            | 6                               |
| <b>Технические критерии оценки качества разработки</b>        |              |       |       |                              |                                 |
| 1. Повышение производительности труда пользователя            | 0,15         | 80    | 100   | 0,8                          | 0,12                            |
| 2. Удобство в эксплуатации                                    | 0,1          | 85    | 100   | 0,85                         | 0,085                           |
| 3. Функциональная мощность                                    | 0,15         | 70    | 100   | 0,7                          | 0,105                           |
| 4. Надежность   | 0,05         | 80    | 100   | 0,8                          | 0,04                            |
| 5. Простота эксплуатации                                      | 0,1          | 100   | 100   | 1                            | 0,1                             |
| 6. Качество пользовательского интерфейса                      | 0,05         | 80    | 100   | 0,8                          | 0,04                            |
| <b>Экономические критерии оценки эффективности разработки</b> |              |       |       |                              |                                 |
| 7. Конкурентоспособность решения                              | 0,07         | 70    | 100   | 0,7                          | 0,049                           |
| 8. Перспективность решения                                    | 0,1          | 85    | 100   | 0,85                         | 0,085                           |
| 9. Затраты на внедрение                                       | 0,08         | 95    | 100   | 0,95                         | 0,076                           |
| 10. Финансовая эффективность                                  | 0,1          | 95    | 100   | 0,95                         | 0,095                           |
| 11. Срок внедрения  | 0,05         | 95    | 100   | 0,95                         | 0,0475                          |
| <b>Итого</b>  | <b>1</b>     |       |       |                              | <b>0,8425</b>                   |

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

В ходе проведенного анализа, значение показателя  $K$  составило 84,25 %, можно сделать вывод, что разработка является перспективной и имеет шансы на получения достаточного инвестирования. Кроме того, были выявлено направление дальнейшего развития, а именно повышение функциональных возможностей программы, а также повышения конкурентоспособности решения путём апробации его работы в актуальной модели энергосистемы в различных схемно-режимных ситуациях.

### **5.2.3 SWOT-анализ**

Для проведения анализа внутренних и внешних факторов, влияющих на научно-исследовательский проект, был использован SWOT-анализ. Матрица SWOT позволяет определить взаимное влияние факторов и сделать выводы, которые помогут при разработке стратегии проведения научного исследования.

К сильным и слабым сторонам можно отнести внутренние черты научного исследования, а к возможностям и угрозам – характеристики внешней среды. В результате анализа составляется матрица, представленная в виде таблицы 5.3.

Таблица 5.3 – Матрица SWOT-анализа научно-исследовательского проекта

|   |   |  |
|---|---|--|
|   | <p><b>Strengths (Сильные стороны):</b><br/> С1. Широкий спектр функциональных возможностей, облегчающих работу пользователя.<br/> С2. Дружелюбный и интуитивно понятный интерфейс и полная документация.<br/> С3. Уменьшение времени расчёта параметров настройки.<br/> С4. Постоянная поддержка разработчика.</p>  | <p><b>Weaknesses (Слабые стороны):</b><br/> Сл1. Неопределенность относительно сроков внедрения результатов исследования<br/> Сл2. Необходимость в большем количестве предварительных исследований.<br/> Сл3. Необходимость в проверке в условиях реальной эксплуатации.</p> |
| <p><b>Opportunities (возможности):</b><br/> В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.<br/> В2. Курс на минимизацию времени расчёта параметров настройки.<br/> В3. Возможность внедрения результатов проведенного исследования</p> | <p>Внедрение результатов исследовательской работы позволит минимизировать время и сложность расчёта уставок, а также унифицировать настройку автоматики, что является качественным её улучшением.<br/> Широкий спектр функциональных возможностей, дружественный интерфейс, документация, а также поддержка разработчика способствуют распространению системы на рынок.</p> | <p>Внедрение данной технологии требует проводить проверку в условиях реальной энергосистемы, однако, существует курс на минимизацию времени расчета параметров настройки устройств АЛАР и внедрение инноваций в данную среду.</p>  |
| <p><b>Threats (угрозы):</b><br/> У1. Отсутствие возможности внедрения.<br/> У2. Неприятия автоматизации пользователями.<br/> У3. Неверное выполнение инструкций пользователем<br/> У4. Медленная работа программы</p>                       | <p>Угрозы проекта связаны с временными трудностями. В данном случае, в долгосрочной перспективе развитие проекта на основе его экономической эффективности и технологического преимущества являются неотъемлемой частью развития комплекса противоаварийной автоматики.<br/> Грамотная поддержка разработчика снизит вероятность медленной работы системы</p>               | <p>Для реализации данной разработки необходимы финансовые и трудовые затраты персонала, что является сдерживающим фактором, на пути внедрения разработки.</p>  |

По итогам SWOT-анализа можно сделать следующие выводы:

– Исследование имеет значительное количество сильных сторон. Автоматизация процесса обработки результатов расчета переходных процессов значительно сокращает время выбора параметров настройки устройств АЛАР, что позволяет минимизировать возможность ошибки.

– Также исследование имеет свои минусы, которые объясняются высокой инертностью отрасли. При внедрении инноваций, которые влияют на надёжность энергосистемы, необходимо понимать целесообразность инвестирования в новое оборудование и технологии, в сравнении с убытками от возможных аварийных ситуаций.

#### 5.2.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценка готовности проекта к коммерциализации осуществляется с помощью заполнения специальной формы (таблица 5.4), содержащей показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциями разработчика научного проекта.

Таблица 5.4 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

| п/п | Наименование   | Степень проработанности научного проекта | Уровень имеющихся знаний у разработчика |
|-----|--|--|---|
| 1   | Определен имеющийся научно-технический задел                                     | 4  | 5                                       |
| 2   | Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела | 4  | 5                                       |
| 3   | Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке        | 5  | 5                                       |
| 4   | Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок  | 4  | 4                                       |
| 5   | Определены авторы и осуществлена охрана их прав                                  | 5  | 4                                       |
| 6   | Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности                        | 3  | 2                                       |
| 7   | Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта                                | 3  | 2                                       |
| 8   | Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки                       | 2  | 2                                       |
| 9   | Определены пути продвижения научной разработки на рынок                          | 2  | 3                                       |

|    |   |           |           |
|----|---|-----------|-----------|
| 10 | Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки                       | 5         | 4         |
| 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            | 3         | 4         |
| 14 | Имеется команда для коммерциализации научной разработки                           | 2         | 2         |
| 15 | Проработан механизм реализации научного проекта                                   | 5         | 5         |
|    | <b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>   | <b>49</b> | <b>49</b> |

Значение  $B_{\text{сум}} = 49$  позволяет сделать вывод, что научная разработка и знания разработчика имеет уровень перспективности выше среднего. Многие аспекты вывода продукта на рынок не были учтены, а также проявляется недостаток знаний. Необходимо дальнейшее совершенствование заготовки проекта и более глубокие исследования в области маркетинга.

### 5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

#### 5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

В рамках планирования комплекса предполагаемых работ формируется конкретный перечень этапов, на которые делится всё исследование, их последовательность, содержание выполнения работы и за каждым этапом закрепляется конкретный исполнитель. В таблице 5.5 представлен результат планирования работ, разбитый на этапы и закреплением исполнителя.

Таблица 5.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы                  | № раб | Содержание работ                                       | Должность исполнителя |
|---------------------------------|-------|--|-----------------------|
| Разработка технического задания | 1     | Составление и утверждение технического задания         | Руководитель          |
| Выбор направления исследований  | 2     | Подбор и изучение материалов по теме                   | Инженер               |
|                                 | 3     | Проведение исследования технических стандартов по теме | Инженер               |
|                                 | 4     | Выбор направления исследований                         | Инженер               |
|                                 | 5     | Календарное планирование работ по теме                 | Руководитель          |
|                                 | 6     | Описание и анализ предметной области                   | Инженер               |

|  |    |  |              |
|--|----|--|--------------|
| Теоретические и экспериментальные исследования | 7  | Проектирование программного модуля           | Инженер      |
|  | 8  | Программная реализация                       | Инженер      |
|  | 9  | Тестирование программного обеспечения        | Инженер      |
|  | 10 | Сопоставление результатов экспериментов      | Инженер      |
|  | 11 | Технико-экономические расчеты                | Инженер      |
|  | 12 | Вопросы безопасности и экологичности проекта | Инженер      |
| Обобщение и оценка результатов                 | 13 | Оценка эффективности полученных результатов  | Руководитель |
| Оформление отчета по НИР                       | 14 | Составление пояснительной записки            | Инженер      |

### 5.3.2 Определение трудоемкости работ

Количественная оценка затрат является неотъемлемой частью анализа исследования с экономической точки зрения и позволяет определить его эффективность в данном аспекте. Большую часть бюджета научно-исследовательского проекта составляют затраты на заработную плату. В связи с этим определение трудоёмкости работ каждого участника становится первостепенной задачей при расчёте экономических показателей исследования.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$ , в человеко-днях, используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (5.2)$$

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

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

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

Далее необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , с учётом параллельности выполнения работ несколькими исполнителями, что позволит провести обоснованный расчет заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (5.3)$$

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

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

Данная работа выполнялась индивидуально поэтому  $T_{pi} = t_{ожi}$ .

Ожидаемая длительность каждой из работ приведена в таблице 5.6.

#### **5.4 Разработка графика проведения научно-исследовательского проекта**

В рамках планирования работ необходимо составить графическое представление графика выполнения работы. Для выполнения подойдет диаграмма Ганта, которая является наиболее наглядной формой представления. Диаграмма Ганта является ленточным графиком, отражающим всю необходимую информацию по каждому этапу работ, например, дата начала этапа, временную протяжённость его выполнения, исполнителя работ.

В связи с тем, что в диаграмме Ганта используются календарные дни, то необходимо перевести длительность каждого из этапов работы в календарные дни. Формула перевода:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5.4)$$

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

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

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

Формула коэффициента календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5.5)$$

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

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

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

Округлим до целого числа количество календарных дней по каждой работе  $T_{\text{К}i}$  и сведем рассчитанные значения в одну таблицу (таблица 5.6).

В качестве примера расчета рассмотрим руководителя (6 дневная рабочая неделя) – составление и утверждение технического задания:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел} - \text{дней};$$

$$T_p = \frac{t_{\text{ож}}}{\text{Ч}} = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22;$$

$$T_{\text{к}} = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,22 = 2,44 \approx 3 \text{ дня}.$$

Инженер (5 дневная рабочая неделя) – подбор и изучение материалов:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел} - \text{дней};$$

$$T_p = \frac{t_{\text{ож}}}{\text{Ч}} = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48;$$

$$T_{\text{к}} = T_p \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,48 = 2,96 \approx 3 \text{ дня}.$$

Таблица 5.6 – Временные показатели проведения научного исследования

| Название работы                                | Трудоёмкость работ  |         |                     |         |                     |         | Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$ |         | Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$ |         |
|--|---------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|--|---------|--|---------|
|  | $t_{min}$ , чел-дни |         | $t_{max}$ , чел-дни |         | $t_{ожі}$ , чел-дни |         | Руководитель                               | Инженер | Руководитель                                   | Инженер |
|  | Руководитель        | Инженер | Руководитель        | Инженер | Руководитель        | Инженер |  |         |  |         |
| Составление и утверждение технического задания | 1                   |         | 2                   |         | 2                   |         | 2  |         | 3  |         |
| Подбор и изучение материалов по теме           |                     | 5       |                     | 8       |                     | 7       |  | 7       |  | 11      |
| Проведение исследования технических стандартов |                     | 3       |                     | 4       |                     | 4       |  | 4       |  | 6       |
| Выбор направления исследований                 | 3                   |         | 5                   |         | 4                   |         | 4  |         | 5  |         |
| Календарное планирование работ по теме         |                     | 4       |                     | 9       |                     | 6       |  | 6       |  | 9       |
| Описание и анализ предметной области           |                     | 4       |                     | 8       |                     | 6       |  | 6       |  | 9       |
| Проектирование программного модуля             |                     | 2       |                     | 4       |                     | 8       |  | 8       |  | 12      |
| Программная реализация                         |                     | 5       |                     | 8       |                     | 7       |  | 7       |  | 11      |
| Тестирование программного обеспечения          |                     | 3       |                     | 6       |                     | 5       |  | 5       |  | 8       |
| Сопоставление результатов экспериментов        | 2                   |         | 3                   |         | 3                   |         |  | 5       |  | 8       |
| Технико-экономические расчеты                  |                     | 3       |                     | 7       |                     | 5       |  | 5       |  | 8       |
| Вопросы безопасности и экологичности проекта   |                     | 3       |                     | 7       |                     | 5       | 3  |         | 4  |         |
| Оценка эффективности полученных результатов    |                     | 1       |                     | 3       |                     | 2       |  | 2       |  | 3       |
| <b>Итого дней (руководитель)</b>               |                     |         |                     |         |                     |         |  |         | <b>12</b>                                      |         |
| <b>Итого дней (инженер)</b>                    |                     |         |                     |         |                     |         |  |         | <b>85</b>                                      |         |
| <b>Итого дней (проект)</b>                     |                     |         |                     |         |                     |         |  |         | <b>97</b>                                      |         |

Основываясь на данных из таблицы 5.6, составим календарный план-график, рисунок 5.1. Разобьём график по неделям (7 дней).

| №  | Название задачи                                | Начало     | Окончание  | Длительность | окт 2020 |       | ноя 2020 |      |       |       |       | дек 2020 |       |       |       | янв 2021 |      |      |
|----|--|------------|------------|--------------|----------|-------|----------|------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|----------|------|------|
|    |  |            |            |              | 18.10    | 25.10 | 1.11     | 8.11 | 15.11 | 22.11 | 29.11 | 6.12     | 13.12 | 20.12 | 27.12 | 3.1      | 10.1 | 17.1 |
| 1  | Составление и утверждение технического задания | 16.10.2020 | 18.10.2020 | 3д           | ■        |       |          |      |       |       |       |          |       |       |       |          |      |      |
| 2  | Подбор и изучение материалов по теме           | 19.10.2020 | 29.10.2020 | 11д          |          | ■     |          |      |       |       |       |          |       |       |       |          |      |      |
| 3  | Проведение исследования технических стандартов | 30.10.2020 | 04.11.2020 | 6д           |          |       | ■        |      |       |       |       |          |       |       |       |          |      |      |
| 4  | Выбор направления исследований                 | 05.11.2020 | 09.11.2020 | 5д           |          |       |          | ■    |       |       |       |          |       |       |       |          |      |      |
| 5  | Календарное планирование работ по теме         | 10.11.2020 | 18.11.2020 | 9д           |          |       |          |      | ■     |       |       |          |       |       |       |          |      |      |
| 6  | Описание и анализ предметной области           | 19.11.2020 | 27.11.2020 | 9д           |          |       |          |      |       | ■     |       |          |       |       |       |          |      |      |
| 7  | Проектирование программного модуля             | 28.11.2020 | 09.12.2020 | 12д          |          |       |          |      |       |       | ■     |          |       |       |       |          |      |      |
| 8  | Программная реализация                         | 10.12.2020 | 20.12.2020 | 11д          |          |       |          |      |       |       |       | ■        |       |       |       |          |      |      |
| 9  | Тестирование программного обеспечения          | 21.12.2020 | 28.12.2020 | 8д           |          |       |          |      |       |       |       |          | ■     |       |       |          |      |      |
| 10 | Сопоставление результатов экспериментов        | 29.12.2020 | 05.01.2021 | 8д           |          |       |          |      |       |       |       |          |       | ■     |       |          |      |      |
| 11 | Технико-экономические расчеты                  | 06.01.2021 | 13.01.2021 | 8д           |          |       |          |      |       |       |       |          |       |       |       | ■        |      |      |
| 12 | Вопросы безопасности и экологичности проекта   | 13.01.2021 | 16.01.2021 | 4д           |          |       |          |      |       |       |       |          |       |       |       |          |      | ■    |
| 13 | Оценка эффективности полученных результатов    | 17.01.2021 | 19.01.2021 | 3д           |          |       |          |      |       |       |       |          |       |       |       |          |      | ■    |

Рисунок 5.1 – Диаграмма Ганта:

■ – руководитель, ■ – инженер

Согласно спланированному графику выполнения исследования, срок выполнения работ по проекту каждого участника составляет:

- руководитель – 12 рабочих дней;
- инженер – 85 рабочих дней.

Суммарный срок выполнения проекта: 97 рабочих дней.

Диаграмма Ганта позволяет наглядно отображать последовательность и сроки выполнения каждого этапа ВКР.

## **5.5 Бюджет научного исследования**

Основой анализа проекта по показателям экономической эффективности является расчёт бюджета научного исследования. Бюджет проекта должен полно и достоверно отражать все виды расходов, сопряжённых с его выполнением. Для полного формирования бюджета НТИ затраты группируются по статьям:

- основная заработная плата исполнителей;
- дополнительная заработная плата исполнителей;
- отчисления на социальные нужды;
- накладные расходы.

Так как оборудование и материалы, необходимые для проведения исследования, предоставляется отделением университета либо находятся в личном пользовании исполнителей и имеют длительный срок эксплуатации, то все материальные затраты включены в состав накладных расходов.

### **5.5.1 Основная заработная плата**

Статья основная заработная плата включает в себя заработную плату сотрудников, непосредственно участвующих в проведении исследования: руководитель и инженер. Расходы по заработной плате определяются в зависимости от трудоёмкости выполняемых работ, рассчитанной ранее, а также действующей системы окладов и тарифных ставок, для каждого исполнителя. Также в состав основной заработной платы входит премия, которая должна выплачиваться каждый месяц из средств фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада.

Статья включают основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты), а также дополнительную заработную плату:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.6)$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

Баланс рабочего времени представлен в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени                               | Руководитель | Инженер |
|---|--------------|---------|
| Календарное число дней                                    | 365          | 365     |
| Количество нерабочих дней<br>- выходные и праздничные дни | 66           | 118     |
| Потери рабочего времени<br>- отпуск                       | 48           | 24      |
| - невыходы по болезни                                     | 14           | 14      |
| Действительный годовой фонд рабочего времени              | 237          | 209     |

Месячная заработная плата исполнителя:

$$Z_m = Z_{ТС} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 36800 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 71760 \text{ руб}$$

где  $Z_{ТС}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{ТС}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от  $Z_{ТС}$ );

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

Среднедневная заработная плата для руководителя:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{71760 \cdot 10,4}{237} = 3149 \text{ руб},$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

Среднедневная заработная плата для инженера:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 10,4}{209} = 1650 \text{ руб},$$

Основная заработная плата исполнителей проекта приведена в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Расчёт основной заработной платы

| Исполнители                       | $Z_{тс}$ ,<br>руб. | $k_{пр}$ | $k_{д}$ | $k_{р}$ | $Z_{м}$ ,<br>руб | $Z_{дн}$ ,<br>руб. | Т <sub>р.</sub><br>раб.<br>дн. | $Z_{осн}$ ,<br>руб. |
|-----------------------------------|--------------------|----------|---------|---------|------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------|
| Руководитель                      | 36800              | 0,3      | 0,2     | 1,3     | 71760            | 3149               | 9                              | 28341               |
| Инженер                           | 17000              | 0,3      | 0,2     | 1,3     | 33150            | 1650               | 55                             | 90750               |
| <b>Итого <math>Z_{осн}</math></b> |                    |          |         |         |                  |                    |                                | <b>119091</b>       |

### 5.5.2 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В статью дополнительная заработная плата включается сумма за отклонение от нормальных условий труда исполнителей темы, а также связанных с обеспечением гарантий и компенсаций, предусмотренных Трудовым кодексом РФ.

Дополнительная заработная плата руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 28341 = 3400,92 \text{ руб}$$

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

Дополнительная заработная плата инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 90750 = 10890 \text{ руб}$$

### 5.5.3 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды. Страховые отчисления являются обязательными и рассчитываются от затрат на оплату труда работников в соответствии с установленным законодательством Российской Федерации.

Страховые отчисления для руководителя:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (28341 + 3400,92) = 8602,1 \text{ руб}$$

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

Страховые отчисления для инженера:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (90750 + 10890) = 27544,44 \text{ руб}$$

Для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, вводится пониженная ставка страховых отчислений, которая составляет 27,1%. В таблице 5.9 представлены отчисления во внебюджетные фонды.

Таблица 5.9 – Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель                                  | Основная заработная плата, руб. | Дополнительная заработная плата, руб. |
|--|---------------------------------|---------------------------------------|
| Руководитель проекта                         | 28341                           | 3400,92                               |
| Инженер                                      | 90750                           | 10890                                 |
| Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды | 0,271                           |                                       |
| Итого  |                                 |                                       |
| Руководитель                                 | 8602,1                          |                                       |
| Инженер                                      | 27544,44                        |                                       |

#### 5.5.4 Накладные расходы

Эта статья учитывает затраты на управление и хозяйственное обслуживание, а также затраты, не вошедшие в другие статьи, например, оплата услуг связи, печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата электроэнергии и т.д. Величина накладных расходов:

$$C_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 3) \cdot k_{нр} = (Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб}) \cdot 0,16 = \\ = (119091 + 14290,92 + 36146,54) \cdot 0,16 = 27124,55 \text{ руб}$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы, примем равным 16%.

#### 5.5.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Заключительным этапом экономической оценки проекта является формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта, так как уже определены все затратные части проведения НИР. Общие расходы на проведение проекта приведены в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Расчет бюджета затрат НИИ

| Наименование статьи  | Сумма, руб.   | %          |
|--|---------------|------------|
| Затраты по основной заработной плате исполнителей темы       | 119091        | 60,56      |
| Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы | 14290,92      | 7,27       |
| Отчисления на социальные нужды                               | 36146,54      | 18,38      |
| Накладные расходы  | 27124,55      | 13,79      |
| <b>Бюджет затрат НИИ</b>                                     | <b>196653</b> | <b>100</b> |

Анализируя затраты по каждой статье, можно сделать следующие выводы:

- Самой большой статьёй расхода являются затраты по основной заработной плате исполнителей темы, они составляют 60 % всего бюджета проекта;
- Следующей по величине статьёй является отчисления на социальные нужды (18 %);
- Накладные расходы составляют порядка 15% бюджета.

### 5.6 Ресурсоэффективность

Оценка сравнительной эффективности исследования основывается на определении интегрального показателя ресурсоэффективности, который имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го параметра, которая устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Сравнительная оценка характеристик проекта

| Критерии  | Весовой коэффициент | Бальная оценка разработки |
|---|---------------------|---------------------------|
| 1. Безопасность   | 0,25                | 5                         |
| 2. Надежность   | 0,25                | 5                         |
| 3. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,20                | 4                         |
| 4. Предполагаемый срок эксплуатации                                 | 0,15                | 4                         |
| 5. Энергоэкономичность  | 0,15                | 3                         |
| <b>Итого:</b>   | <b>1,00</b>         |                           |

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разрабатываемого научно-исследовательского проекта:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 4,35$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности составил 4,35 из 5 возможных, это неплохой результат, что свидетельствует об эффективности реализации технического проекта.

### 5.7 Вывод

В рамках раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» была доказана конкурентоспособность данного технического решения на основе анализа с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, с помощью SWOT-анализа определены сильные и слабые стороны проекта, угрозы и возможности, а также проанализировано их взаимное влияние. Произведено планирование работ, длительность работ составила 97 календарных дней. Для наглядности календарного планирования была построена диаграмма Ганта. Бюджет проекта составил 196 653 руб., большая часть которого приходится на выплату заработной платы участникам проекта.

Ожидаемый эффект от проекта заключается в том, что результаты, полученные при выполнении ВКР, могут быть использованы для определения параметров настройки устройств АЛАР.