

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
Разработка алгоритма верификации параметров линии электропередачи в расчетных моделях и его программная реализация

УДК 621.315.1:004.05

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
О-8КМ71	Веретенников Алексей Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ОИТ ИШИТР ТПУ	Рейзлин В.И.	к. т. н.		

Консультанты:

По выпускной квалификационной работе

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ОЭЭ ИШЭ ТПУ	Кац И.М.	к. т. н.		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ОСГН ШБИП ТПУ	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент, ОЛД ШБИП ТПУ	Мезенцева И.Л.			

Допустить к защите:

Руководитель ООП

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

Томск – 2020 г.

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

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки (специальности)		
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного совершенствования своей личности, демонстрировать готовность к непрерывному обучению и стремиться к реализации своего творческого потенциала.	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 3), СУОС (УК-6), Критерий 5 АИОР (п. 2.5, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей: АО «СО ЕЭС»
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, демонстрировать способность к активной социальной мобильности.	Требования ФГОС (ОПК-1, ПК-19), СУОС (УК-4, 5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей: АО «СО ЕЭС»
P3	Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли информационных технологий и информации в развитии технических систем, демонстрировать готовность вести работу с привлечением современных информационных технологий для решения профессиональных задач, синтезировать и критически резюмировать информацию.	Требования ФГОС (ОК-1; ОПК-3, 4, 5, 6), СУОС (УК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей: АО «СО ЕЭС»
P4	Применять углубленные естественно-научные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте для решения не стандартных задач, связанных с анализом, проектированием и оптимизацией технологических и информационных процессов.	Требования ФГОС (ПК- 8, 9), Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей: АО «СО ЕЭС»
P5	Использовать на практике навыки и умения в организации работ над проектами по информатизации деловых процессов в технических системах, в управлении информационными ресурсами и системами, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности. Проявлять инициативу и демонстрировать готовность брать на себя ответственность за решение производственных задач с использованием информационных технологий.	Требования ФГОС (ОК-2, ОПК-1; ПК-17, 18, 20), СУОС (УК-2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 1.2, 1.3, 2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей: АО «СО ЕЭС»
P6	Применять передовые методы анализа и международный опыт для оценки качества, надежности и безопасности информационных систем для постановки задач развития и совершенствования прикладных и информационных процессов предприятия и организации.	Требования ФГОС (ПК-15, 16, 21, 22). Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей :АО «СО ЕЭС»
P7	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; осуществлять профессиональную деятельность, руководствуясь требованиями стандартов и рынка с учетом возможных рисков.	Требования ФГОС (ПК-6, 7, 14, 22), СУОС (УК-2), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, работодателей: АО «СО ЕЭС»

по профилю «Информационные технологии в электроэнергетике»		
P8	Осваивать и применять новое оборудование, системное и прикладное (общего и специального назначения) программное обеспечение, адаптировать современные информационные и компьютерные технологии, проектировать и разрабатывать программное обеспечение для автоматизации и информатизации технологических процессов в электроэнергетике.	Требования ФГОС (ОПК-6, ПК-11, 13, 23), требования работодателей: АО «СО ЕЭС». Требования профессиональных стандартов 06.001, 06.011, 06.015, 06.016, 06.022, 40.057, 20.035.
P9	Проводить установочные, регулировочные, испытательные, наладочные работы компьютерного и сетевого оборудования, системного и прикладного (общего и специального назначения) программного обеспечения, как отдельных компонентов, так и в составе информационной системы.	Требования ФГОС (ПК-11, 24), требования работодателей: АО «СО ЕЭС». Требования профессиональных стандартов 06.001, 06.011, 06.015, 06.016, 06.022, 40.057.
P10	Осуществлять сопровождение процессов проектирования, внедрения, эксплуатации и модернизации информационных и телекоммуникационных систем, применяемых в электроэнергетике.	Требования ФГОС (ОПК-6, ПК-6, 7, 8, 9), СУОС (УК-2, 3), требования работодателей: АО «СО ЕЭС». Требования профессиональных стандартов 06.001, 06.011, 06.015, 06.016, 06.022, 40.057.

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф. И. О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
О-8КМ71	Веретенникову Алексею Сергеевичу

Тема работы:

Разработка алгоритма верификации параметров линии электропередачи в расчетных моделях и его программная реализация	
Утверждена приказом директора	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20.01.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ol style="list-style-type: none">1. Данные телеизмерений перетоков активной и реактивной мощности по:<ul style="list-style-type: none">• ЛЭП 110 кВ Беловская – Беловская ГРЭС• ЛЭП 220 кВ Ново-Анжерская – Зональная• ЛЭП 220кВ Ново-Анжерская – Заискигимская• ЛЭП 500 кВ Ново-Анжерская – Юрга• ЛЭП 500кВ Итатская – Ново-Анжерская2. Данные СВИ по:<ul style="list-style-type: none">• ЛЭП 500 кВ Богучанская ГЭС – Озерная• ЛЭП 500 кВ Восход – Витязь• ЛЭП 500 кВ Братский ПП – Озерная
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор существующих методов верификации параметров ЛЭП в расчетных моделях 2. Разработка алгоритмов верификация параметров ЛЭП по данным телеметрии 3. Разработка алгоритмов верификация параметров ЛЭП по данным векторных измерений 4. Реализация приложения для верификации параметров ЛЭП, используя предложенные алгоритмы
Перечень графического материала	

Консультант по выпускной квалификационной работе

Кац Илья Маркович, доцент, ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Меньшикова Е.В., доцент Отделения социально-гуманитарных наук ШБИП ТПУ
Социальная ответственность	Мезенцева И.Л., ассистент Отделения общетехнических дисциплин ШБИП ТПУ

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

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.06.2019
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент, ОИТ ИШИТР ТПУ	Рейзлин В.И.	к. т. н.		25.06.2019

СОГЛАСОВАНО

Консультанты по ВКР:

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент, ОЭЭ ИШЭ ТПУ	Кац И.М.	к. т. н.		25.06.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
О-8КМ71	Веретенников Алексей Сергеевич		25.06.2019

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
О-8КМ71	Веретенникову Алексею Сергеевичу

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

Тема работы:

Разработка алгоритма верификации параметров линии электропередачи в расчетных моделях
и его программная реализация

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	20 % надбавки
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	30% отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Определение общих технико-экономических показателей</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Расчет затрат на разработку программного комплекса</i> • <i>Расчет цены разработанной программы</i> • <i>Расчет капитальных вложений</i> • <i>Расчет эксплуатационных расходов</i> • <i>Расчет денежного годового экономического эффекта</i>
---	---

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Сводная таблица определённых технико-экономические показатели*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ОСГН ШБИП ТПУ	Меньшикова Е.В.	к.ф.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
О-8КМ71	Веретенников Алексей Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
О-8КМ71	Веретенникову Алексею Сергеевичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	<i>Магистратура</i>	Направление/специальность	<i>Прикладная информатика</i>

Тема ВКР:

Разработка алгоритма верификации параметров линии электропередачи в расчетных моделях и его программная реализация

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Исследование методов верификации параметров линии электропередачи в математических моделях для расчетов установившихся режимов электроэнергетических систем и их программная реализация. Область применения: регламентное составление актуальной модели сотрудником СЭР относительно фактических параметров ЛЭП.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197; ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным ЭВМ и организации работы;

2. Производственная безопасность:

- 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов
- 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Вредные и опасные факторы:
 – Повышенный уровень электромагнитного излучения
 – Недостаточная освещенность рабочей зоны
 – Превышение уровня шума
 – Отклонение показателей микроклимата
 – Поражение электрическим током

3. Экологическая безопасность:

- анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду;
- разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:

Выбор и описание возможных ЧС:
 – пожар.
 – обоснование мероприятий по предотвращению ЧС;
 – разработка порядка действий в результате возникновения ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент, ООД ШБИП ТПУ	Мезенцева И.Л.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
О-8КМ71	Веретенников А.С.		

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: осенний/весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20.01.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.09.2019	Теоретический обзор	5
31.10.2019	Реализация алгоритма верификация параметров ЛЭП по данным телеметрии	10
18.11.2019	Реализация алгоритмов верификация параметров ЛЭП по данным векторных измерений	10
29.11.2019	Реализация алгоритма загрузки данных с ОИК СК-2007	15
09.12.2019	Реализация алгоритма загрузки данных с АС СМНР	15
16.12.2019	Разработка графического интерфейса	20
23.12.2019	Социальная ответственность	10
13.01.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
20.01.2020	Оформление расчетно-пояснительной записки	5

Составил руководитель ВКР:

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент, ОИТ ИШИТР ТПУ	Рейзлин В.И.	к. т. н.		25.06.2019

СОГЛАСОВАНО

Консультанты по ВКР:

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент, ОЭЭ ИШЭ ТПУ	Кац И.М.			25.06.2019

Руководитель ООП:

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

Реферат

Выпускная квалификационная работа 95 с., 24 рис., 22 табл., 28 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: точность исходных данных, установившийся режим, эталонная модель, условно-постоянные параметры, СМПР, векторные измерения, актуальная расчетная модель, точность измерительного тракта, достоверность РМ, верификация, параметры ЛЭП.

Key words: reference model, WAMS, phasor measurement, actual computational model, accuracy of the measuring path, accuracy of the computational model, verification, parameters of power transmission lines.

Объектом исследования являются методы верификации параметров ЛЭП в математических моделях для расчетов установившихся режимов электроэнергетических систем и их программная реализация.

Цель работы – разработка алгоритмов верификации параметров ЛЭП для расчетов установившихся режимов электроэнергетических систем и разработка приложения, позволяющего верифицировать параметры ЛЭП по данным ОИК СК-2007 и АС СМПР.

Методология проведения работы: в ходе разработки приложения использовались стандартные библиотеки, а также библиотеки, находящиеся в открытом доступе. Для взаимодействия с ОИК СК-2007 использовались стандартные инструменты для доступа к данным. В ходе разработки алгоритмов использовались отечественные и зарубежные методики определения параметров линии электропередачи, алгоритм учитывает требования к созданию и актуализации расчетной модели для расчетов установившихся режимов.

Результаты работы: разработано приложение, позволяющее проводить верификацию параметров ЛЭП по данным телеизмерений и векторных измерений.

Область применения: алгоритмы верификации параметров ЛЭП могут быть использованы при автоматизации актуализации расчетных моделей ПК RastrWin3.

Список сокращений

BPMN	– нотация и модель бизнес-процессов;
FishBone	– причинно-следственная диаграмма;
SCADA	– диспетчерское управление и сбор данных;
SVD	– метод сингулярного разложения
АС	– автоматизированная система;
БДРВ	– база данных реального времени
ВЛ	– воздушная линия
ДЦ	– диспетчерский центр;
КДД	– компонент доступа к данным;
ЛВС	– локально-вычислительная сеть;
ЛЭП	– линия электропередачи;
МИП	– многофункциональный измерительный преобразователь;
ММЗ	– массив мгновенных значений;
МСС	– мультисервисная сеть;
ОДУ	– объединенное диспетчерское управление;
ОИК	– оперативно-информационный комплекс;
ПА	– противоаварийная автоматика
ПК	– программный комплекс
РДУ	– региональное диспетчерское управление;
РМ	– расчетная модель;
СВИ	– синхронизированные векторные измерения;
СЛАУ	– система линейных алгебраических уравнений;
СМНР	– система мониторинга переходных режимов;
СЭР	– служба электрических режимов;
ТИ	– телеизмерения.
ЭС	– энергосистема;
ЭЭС	– электроэнергетическая система;

Оглавление

Введение.....	13
1. Обзор существующих программных комплексов и методов верификации параметров ЛЭП в расчетных моделях.....	16
1.1. Общие сведения.....	16
1.2. Методы определения параметров схем замещения элемента	17
1.2.1. Метод определения параметров ВЛ через коэффициенты четырехполюсника	19
1.2.2. Метод определения параметров П-образной схемы замещения.....	20
1.2.3. Методика уточнения параметров ЛЭП по данным СВИ	24
2. Методы решения системы уравнений для задачи верификации параметров ЛЭП по данным СВИ	26
2.1. Метод Гаусса	26
2.2. Метод SVD.....	30
2.3. Тестирование и сравнение алгоритмов.....	31
Выводы по главе 2.....	32
3. Разработка приложения	34
3.1. Обоснование выбранных средств разработки.....	34
3.1.1. Интегрированная среда Visual Studio 2017	34
3.1.2. Компонент доступа к данным ОИК СК-2007.....	34
3.1.3. Библиотека AstraLib.dll для взаимодействия с ПК RastrWin3	36
3.2. Структура программы.....	36
3.3. Результат разработки приложения	42
3.4. Анализ защищённости объекта	46

3.5. Анализ увеличения защищённости объекта	48
4. Тестирование приложения	50
4.1. Тестирование модуля верификации параметров ЛЭП по данным ТИ ..	50
4.2. Тестирование модуля верификации параметров ЛЭП по данным СВИ	56
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	59
6. Социальная ответственность	69
Заключение	88
Список публикаций студента	89
Список литературы	911
Приложение А	944

Введение

Расчет и анализ установившихся режимов является важнейшей частью обеспечения надежности функционирования электроэнергетических систем (ЭЭС).

Точность моделирования ЭЭС во многом определяет параметры как нормальных, так и предельных режимов работы ЭЭС. Поэтому повышение точности математических моделей позволяет уточнять пределы передаваемых мощностей по линиям электропередачи и контролируемым сечениям, проводить корректировку областей существования режимов.

Актуальные расчетные модели используются для корректного моделирования потокораспределения активной и реактивной мощностей в сетях при [12]:

- выполнении оперативных расчётов электроэнергетических режимов (например, при рассмотрении диспетчерских заявок);
- подготовке инструктивных материалов положений по управлению режимами работы энергосистем в операционных зонах регионального диспетчерского управления (РДУ) и объединенного диспетчерского управления (ОДУ);
- разработке мероприятий по управлению электроэнергетическим режимом работы ЭС (энергосистемы);
- разработке временных указаний (диспетчерских распоряжений) по энергетическим режимам для непредусмотренных действующей инструктивной документацией условий работы ЭС и ОЭС Сибири в целом;
- выборе режимных параметров настройки противоаварийной автоматики (ПА), разработке режимных требований при внедрении новых и усовершенствовании существующих устройств ПА;
- выполнении расчетов электрических режимов по напряжению и разработке графиков напряжений в контрольных пунктах операционной зоны (ОЗ) РДУ и ОДУ;

– выполнении прочих расчетов, требующих актуальную информацию об электрическом режиме и схеме прилегающих энергорайонов.

В соответствии с требованиями [2], сведения, на основе которых формируются расчетные модели, предоставляются собственниками оборудования. По этой причине возникает вопрос о том, являются ли эти сведения достоверными и, как следствие, являются ли сами расчетные модели достоверными. На данный момент отсутствует этап проверки истинности расчетной модели.

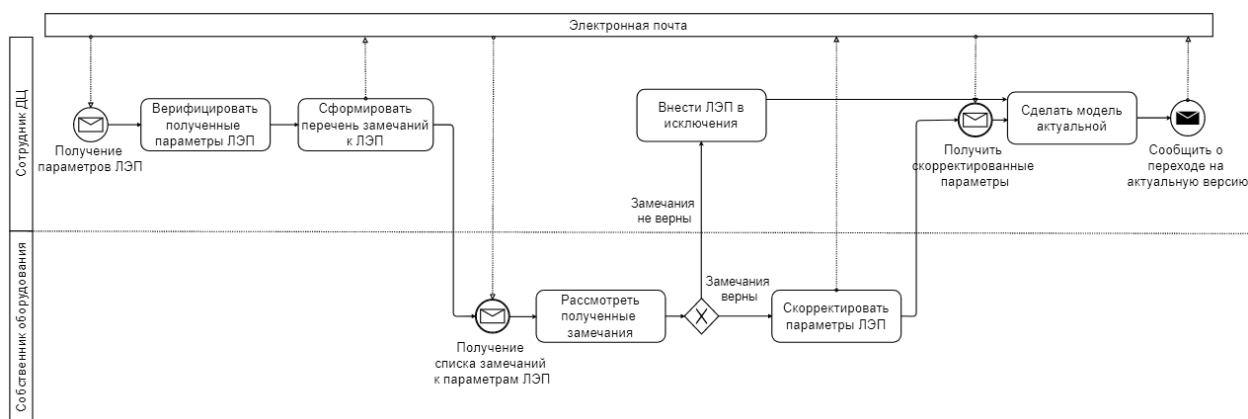


Рисунок 1. VRMN диаграмма предлагаемых изменений

Актуальность необходимости разработки приложения, позволяющего производить верификацию параметров ЛЭП как по данным синхронизированных векторных измерений (СВИ), так и по данным оперативно информационного комплекса (ОИК) характеризуется следующими факторами:

- 1) Отсутствует учет влияния эксплуатационного состояния на параметры ЛЭП
- 2) Наличие «человеческого фактора» при составлении перечня параметров ЛЭП и расчетной модели
- 3) Отсутствие формализованной проверки сведений, на основе которых формируется расчетная модель

Цель работы – разработка инструментов, позволяющих производить верификацию параметров ЛЭП по измерениям, приходящим в диспетчерский центр (ДЦ).

Основными задачами в данной работе являются:

1. Разработка алгоритма верификации параметров ЛЭП по данным телеизмерений и векторных измерений.

2. Разработка программного комплекса, позволяющего производить верификацию параметров ЛЭП сотрудником службы электрических режимов (СЭР), результатом которой будет создание перечня замечаний к ЛЭП, направляемого собственнику электросетевого оборудования (рис. 1).

1. Обзор существующих программных комплексов и методов верификации параметров ЛЭП в расчетных моделях

1.1. Общие сведения

В основном существующие методы верификации параметров ЛЭП базируются на непосредственном определении параметров ЛЭП. При этом, как правило, используются различные источники исходной информации, такие как синхронизированные векторные измерения [4,5], устройства телеметрии [6] и на информации, получаемой от регистраторов аварийных событий.

На практике, наиболее осуществимыми являются подходы, которые основаны на использовании данных перетоков активных и реактивных мощностей в начале и в конце элемента, напряжений в узлах схемы, либо по данным векторов токов и напряжения.

В качестве исходных данных могут служить данные, получаемые от систем телемеханики или систем векторных измерений. К таким методам относятся методы, которые в качестве исходных данных используют следующие скалярные параметры режима:

- P_1, Q_1, P_2, Q_2 – фазные значения активной и реактивной мощностей по концам линии;
- $U_{\phi 1}, U_{\phi 2}$ – действующие значения фазных напряжений по обоим концам линии.
- δ – угол между векторами напряжений начала и конца линии, получаемый от устройств синхронизированных векторных измерений (УСВИ).

Для оценки влияния точности задания исходных данных на результаты расчетов необходимо использовать интегральные показатели электрических режимов, к которым относятся суммарные потери активной и реактивной мощностей и уровни напряжения в контролируемых узлах расчетной модели [5].

В качестве исходной информации для построения расчетных моделей используются параметры оборудования, предоставляемые собственниками. На основе данной информации формируется база данных оборудования, содержащая в себе параметры электрооборудования, установленного в данной операционной зоне (рис. 1.1).

№ п/п	Диспетчерское наименование ЛЭП	Описание ветвей в РМ RastrWin				Параметры ветвей в РМ RastrWin				Описание ветвей в РМ КОСМОС		
		N_нач	N_кон	N_п	N_l(t)	R	X	G	B	N_нач	N_кон	N_п
ЛЭП, информация о которых указана в Приложении № 10 к ПУР												
1	ВЛ 500 кВ Беловская ГРЭС – Кузбасская	60602001	60690078		606401	1,9295	23	2,1147	-290,1196	244	285	
2	ВЛ 500 кВ Беловская ГРЭС – Ново-Анжерская	60690074	60602002		606402	5,545	66,089	6,077	-833,657	77	243	
3	ВЛ 500 кВ Берёзовская ГРЭС – Итатская № 2											
4	ВЛ 500 кВ Заря – Юрга	60690011	60700807			0,386	4,603	0,423	-58,062	79	625	
5	ВЛ 500 кВ Итатская – Томская	60901131	60513074		609145	1,4605	13,646	0,178	-170,2828	1507	700	
6	ВЛ 500 кВ Кузбасская – Новокузнецкая	60690018	60690133		606405	0,464	5,534	0,509	-69,805	288	278	

Рисунок 1.1. База данных оборудования

Такой подход не исключает человеческий фактор при создании расчетной модели и зачастую, предоставляемые данные не соответствуют действительным параметрам уставленного оборудования.

Поэтому для обеспечения совпадения результатов расчетов с параметрами фактических электроэнергетических режимов необходимо проводить верификацию параметров расчетных моделей.

1.2. Методы определения параметров схем замещения элемента

Как показал обзор литературы, единой методики верификации расчетных моделей и их параметров в настоящее время не существует.

В соответствии с [8] к расчетным моделям предъявляются следующие требования:

1. Объем расчетной модели и применяемые принципы моделирования элементов расчетной модели должны обеспечивать совпадение результатов расчетов электроэнергетических режимов с использованием расчетной модели с параметрами фактических электроэнергетических режимов.

2. Объем и структура расчетной модели должны предоставлять возможность моделирования нормативных аварийных возмущений и

соответствующих послеаварийных режимов в энергосистеме без изменения параметров моделей электросетевого и генерирующего оборудования.

3. Расчетная модель должна содержать справочную информацию в объеме, необходимом для оптимизации электроэнергетического режима и автоматизированной оценки допустимости электроэнергетического режима.

4. Формирование расчетной модели должно осуществляться на основании данных, представленных собственниками электросетевого и генерирующего оборудования.

Поэтому, для оценки параметров расчетной модели принципиально могут быть использованы следующие подходы:

1. Непосредственное сравнение параметров расчетной модели с эталонными значениями

2. Непосредственное оценивание параметров электрических режимов с расчетными значениями (уровни напряжений, потери мощности и т.д.)

3. Определение фактических параметров элементов схем замещения по данным измерений

Первый подход может быть осуществим в случае наличия эталонных значений. В этом случае задача верификации расчетной модели сводится к прямому сравнению значений эталонной и текущей модели. Однако, достоверные данные, которые можно было бы использовать в качестве эталонных значений на практике отсутствуют.

Поэтому необходимо развивать методы, позволяющие проводить оценку параметров расчетной модели на основании анализа фактических электрических режимов.

В настоящее время идет активная разработка методов и алгоритмов определения параметров ЛЭП. Описанные ниже методики базируются на различных источниках исходной информации, таких как синхронизированные векторные измерения, устройства телеметрии и на информации, получаемой

от РАП. Большинство методик сводится к нахождению коэффициентов четырехполюсника.

1.2.1. Метод определения параметров ВЛ через коэффициенты четырехполюсника

Сущность данных методов состоит в том, что установленные в начале и конце ВЛ устройства РАП собирают синхронизированные по времени массивы мгновенных значений (ММЗ) напряжений и токов (см. рис. 1.2).

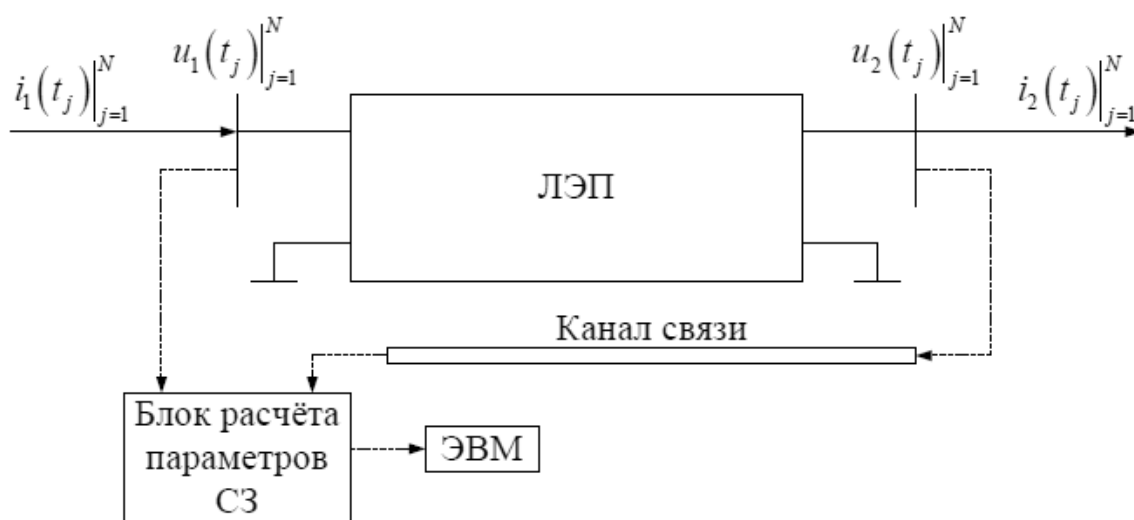


Рисунок 1.2 – Схема передачи данных от ВЛ

Далее ММЗ напряжений и токов обрабатываются с помощью процедур дискретизированной электротехники. В процессе расчёта находят действующие значения токов I во всех ветвях схемы замещения, а также интегральные значения активных P и реактивных Q мощностей в продольной ветви схемы. После этого, используя значения мощностей и действующие значения токов, находят параметры схемы замещения [10, 13].

По уравнениям четырехполюсника, составленных относительно концов ЛЭП, определяются коэффициенты \underline{A} , \underline{B} , \underline{C} , \underline{D} при $\underline{A} = \underline{D}$ [9]:

$$\begin{cases} \underline{U}_{\phi 1} = \underline{A} \cdot \underline{U}_{\phi 2} + \underline{B} \cdot \underline{I}_2 \\ \underline{I}_1 = \underline{C} \cdot \underline{U}_{\phi 2} + \underline{D} \cdot \underline{I}_2 \\ \underline{U}_{\phi 2} = \underline{D} \cdot \underline{U}_{\phi 1} - \underline{B} \cdot \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 = -\underline{C} \cdot \underline{U}_{\phi 1} + \underline{A} \cdot \underline{I}_1 \end{cases} \quad (1.1)$$

где \underline{I}_1 , \underline{I}_2 – векторные значения токов в начале и конце линии; $\underline{U}_{\phi 1}$, $\underline{U}_{\phi 2}$ – векторные значения фазных напряжений в начале и конце линии.

Используя первые три уравнения для определенности, составляется система уравнения:

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_{\phi 2} & \underline{I}_2 & 0 \\ \underline{I}_2 & 0 & \underline{U}_{\phi 2} \\ \underline{U}_{\phi 1} & -\underline{I}_1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{A} \\ \underline{B} \\ \underline{C} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{U}_{\phi 1} \\ \underline{I}_1 \\ \underline{U}_{\phi 2} \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Решим систему уравнений и получим следующие выражения:

$$\begin{aligned} \underline{A} &= \frac{\underline{U}_{\phi 2}^2 \underline{I}_2 + \underline{U}_{\phi 1} \underline{U}_{\phi 2} \underline{I}_1}{\underline{U}_{\phi 2}^2 \underline{I}_1 + \underline{U}_{\phi 1} \underline{U}_{\phi 2} \underline{I}_2}; \\ \underline{B} &= \frac{\underline{U}_{\phi 1} \underline{U}_{\phi 2} - \underline{U}_{\phi 2}^3}{\underline{U}_{\phi 2}^2 \underline{I}_1 + \underline{U}_{\phi 1} \underline{U}_{\phi 2} \underline{I}_2}; \\ \underline{C} &= \frac{\underline{U}_{\phi 2} \underline{I}_1^2 - \underline{U}_{\phi 2} \underline{I}_2^2}{\underline{U}_{\phi 2}^2 \underline{I}_1 + \underline{U}_{\phi 1} \underline{U}_{\phi 2} \underline{I}_2}. \end{aligned} \quad (1.3)$$

Далее вычисляются волновые и погонные параметры ЛЭП. Векторные значения токов и фазных напряжений, используемые в выражениях (1.3), могут быть получены по соответствующим ММЗ токов и напряжений, зарегистрированным в начале и конце линии.

Основным недостатком данного метода является необходимость наличия массивов мгновенных значений токов и напряжения на входе и выходе ЛЭП, которые далеко не всегда доступны.

1.2.2. Метод определения параметров П-образной схемы замещения ЛЭП

На практике, наиболее осуществимым является подходы, которые основаны на использовании данных перетоков активной и реактивной мощности в начале и в конце элемента и напряжений в узлах схемы либо

по данным векторов токов и напряжения.

В качестве исходных данных могут служить системы векторных измерений и системы телеизмерений.

К первой группе алгоритмов относятся алгоритмы, которые в качестве исходных данных используются следующие скалярные параметры режима [10]:

- P_1, Q_1, P_2, Q_2 – фазные значения активной и реактивной мощностей по концам линии;
- $U_{\Phi 1}, U_{\Phi 2}$ – действующие значения фазных напряжений по обоим концам линии.

Модель воздушной линии (ВЛ), используемая для исследования методики, изображена на рисунке 1.3.

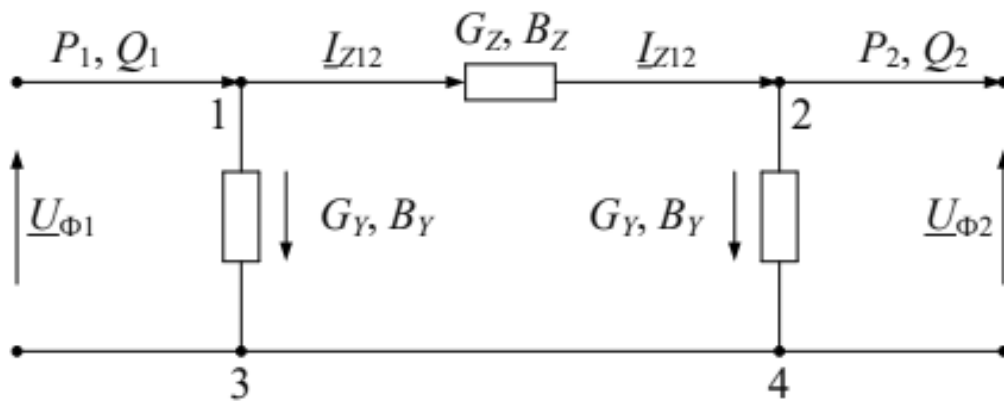


Рисунок 1.3 – Схема замещения ВЛ

Искомыми параметрами представленной схемы замещения являются продольные и поперечные проводимости G_Z, B_Z, G_Y, B_Y [7].

Суть методики [10] заключается в решении системы уравнений, базирующихся на балансе активной и реактивной мощностей начала и конца линии. Данные уравнения приведены ниже:

$$\begin{cases} \varphi_{P1} = -P_1 + U_{\Phi 1}^2 \cdot (G_Z + G_Y) - U_{\Phi 1} \cdot U_{\Phi 2} \cdot (G_Z \cdot \cos(\delta) - B_Z \cdot \sin(\delta)); \\ \varphi_{Q1} = -Q_1 + U_{\Phi 1}^2 \cdot (B_Z + B_Y) - U_{\Phi 1} \cdot U_{\Phi 2} \cdot (B_Z \cdot \cos(\delta) + G_Z \cdot \sin(\delta)); \\ \varphi_{P2} = -P_2 + U_{\Phi 2}^2 \cdot (G_Z + G_Y) + U_{\Phi 1} \cdot U_{\Phi 2} \cdot (G_Z \cdot \cos(\delta) + B_Z \cdot \sin(\delta)); \\ \varphi_{Q2} = -Q_2 + U_{\Phi 2}^2 \cdot (B_Z + B_Y) + U_{\Phi 1} \cdot U_{\Phi 2} \cdot (B_Z \cdot \cos(\delta) - G_Z \cdot \sin(\delta)); \end{cases} \quad (1.4)$$

где $\varphi_P, \varphi_Q, \varphi_P, \varphi_Q$ – небалансы мощностей в узлах начала и конца

ЛЭП.

Кроме искомым параметров схемы замещения в уравнениях имеется угол δ между векторами напряжений начала и конца линии. Эта величина является неизвестной в этих выражениях, поэтому следует связать искомые параметры G_Z, B_Z, G_Y, B_Y с углом δ . Для этого необходимо составить пятое уравнение, которое можно найти на базе выражений действующего значения тока I_{Z12} по параметрам линии:

$$\begin{aligned} I_{Z12}^2 &= \frac{1}{U_{\Phi 1}^2} \cdot \left((P_1 - U_{\Phi 1}^2 \cdot G_Y)^2 + (Q_1 + U_{\Phi 1}^2 \cdot B_Y)^2 \right); \\ I_{Z12}^2 &= \frac{1}{U_{\Phi 2}^2} \cdot \left((P_2 + U_{\Phi 2}^2 \cdot G_Y)^2 + (Q_2 - U_{\Phi 2}^2 \cdot B_Y)^2 \right). \end{aligned} \quad (1.5)$$

Как видно, левые части уравнений одинаковы, поэтому приравниваем правые части и получаем пятое уравнение в виде небаланса квадратов тока:

$$\begin{aligned} \varphi_I &= \frac{1}{U_{\Phi 1}^2} \cdot \left((P_1 - U_{\Phi 1}^2 \cdot G_Y)^2 + (Q_1 + U_{\Phi 1}^2 \cdot B_Y)^2 \right) - \\ &- \frac{1}{U_{\Phi 2}^2} \cdot \left((P_2 + U_{\Phi 2}^2 \cdot G_Y)^2 + (Q_2 - U_{\Phi 2}^2 \cdot B_Y)^2 \right). \end{aligned} \quad (1.6)$$

В пределах одного установившегося режима полученные уравнения связывают местные скалярные параметры по концам линии именно этого режима. Так как параметры режима и схемы замещения соответствуют друг другу при любых значениях угла δ , то при использовании в тех же числовых данных пятое уравнение преобразуется в тождество при любых значениях угла. Поэтому, для нахождения угла δ , требуется применить параметры другого установившегося режима в пятом уравнении.

Согласно [10], чем выше разница в параметрах для обоих режимов, тем более отдалёнными получаются результаты расчёта алгоритма от этих схем замещения. Следовательно, необходимо измерять параметры второго режима так, чтобы схема замещения не претерпевала значительных изменений. Изменение в схемных параметрах может достигать 5 % для получения приемлемых результатов расчёта (кроме реактивной

проводимости). Для определения причины высокой погрешности, связанной с изменением реактивной проводимости, нужны дополнительные исследования, которые являются отдельной самостоятельной задачей.

Уравнения, использующие скалярные параметры первого режима, и уравнение, использующее скалярные параметры второго режима, представляются замкнутой системой линейных уравнений, которую можно решить методами линейной алгебры, а также итерационным методом. В качестве начальных значений искомых параметров ВЛ принимаются справочные данные.

После нахождения составляющих поперечных и продольных проводимостей вычисляются активные R и реактивные X составляющие продольного сопротивления \underline{Z} :

$$R = \frac{G_z}{G_z^2 + B_z^2}; X = \frac{B_z}{G_z^2 + B_z^2}; \quad (1.7)$$

поперечной проводимости \underline{Y} :

$$G = G_y; B = B_y.$$

Отсюда имеем:

$$\underline{Z} = R + jX; \underline{Y} = G + jB. \quad (1.8)$$

На следующем этапе алгоритма определяются обобщённые постоянные четырёхполюсника \underline{A} , \underline{B} , \underline{C} , \underline{D} по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \underline{A} = \underline{D} &= 1 + \underline{Y} \cdot \underline{Z}; \\ \underline{B} &= \underline{Z}; \\ \underline{C} &= \underline{Y} \cdot (2 + \underline{Y} \cdot \underline{Z}). \end{aligned} \quad (1.9)$$

Далее вычисляются волновые параметры ВЛ. Затем, используя полученные значения, рассчитываем удельные параметры ВЛ:

$$\begin{aligned} z_0 &= r_0 + jx_0 = \underline{\gamma}_0 \cdot \underline{Z}_B; \\ y_0 &= g_0 + jb_0 = \underline{\gamma}_0 / \underline{Z}_B. \end{aligned} \quad (1.10)$$

Таким образом, в данном разделе определена последовательность действий при идентификации погонных параметров ВЛ с помощью местных скалярных параметров режима.

1.2.3. Методика уточнения параметров ЛЭП по данным векторных измерений

Согласно [11], значения фактических параметров линии электропередач могут быть получены по данным синхронизированных векторных измерений (СВИ) с использованием следующих уравнений:

$$\underline{Y} = \frac{\underline{I}_1 - \underline{I}_2}{\underline{U}_{\phi 1} + \underline{U}_{\phi 2}}; \quad \underline{Z} = \frac{\underline{U}_{\phi 1} - \underline{U}_{\phi 2}}{\underline{I}_1 - \underline{Y} \cdot \underline{U}_{\phi 1}} \quad (1.11)$$

где $\underline{I}_1, \underline{I}_2$ – токи в начале и конце линии в векторном виде; $\underline{U}_{\phi 1}, \underline{U}_{\phi 2}$ – напряжения в начале и конце линии в векторном виде.

При отсутствии погрешности в данных СВИ, представленные выше выражения, дают точные параметры \underline{Y} и \underline{Z} .

Недостатком метода является использования допущения о симметричности пассивных параметров ЛЭП и активных параметров режима.

Также существуют аналогичные методики определения параметров ВЛ по данным измерений параметров электрических режимов.

В [14] предлагается использование в качестве исходных данных измерения, синхронизированные по времени, и полученные от системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) системы с двух концов ЛЭП.

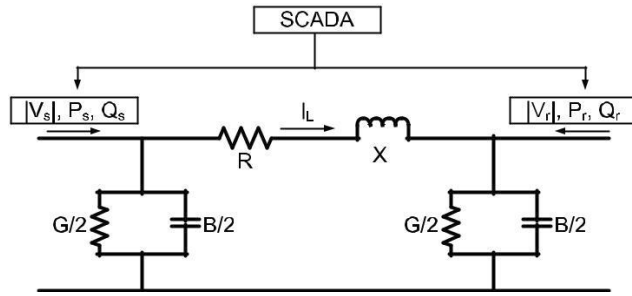


Рисунок 1.4 – Схема замещения ЛЭП

Данный метод подразумевает использование алгоритма оптимизации Левенберга-Марквардта для нахождения неизвестных параметров. По известным параметрам режима составляется система нелинейных уравнений (1.12), которая требует решения.

$$\begin{cases} \sqrt{\frac{(P_s^{(i)} - |V_s^{(i)}|^2 G_i/2)^2 + (Q_s^{(i)} + |V_s^{(i)}|^2 B/2)^2}{|V_s^{(i)}|^2}} - \sqrt{\frac{(P_r^{(i)} - |V_r^{(i)}|^2 G_i/2)^2 + (Q_r^{(i)} + |V_r^{(i)}|^2 B/2)^2}{|V_r^{(i)}|^2}} = \varepsilon_{1i} \\ (I_L^{(i)})^2 R_i - \left((P_s^{(i)} - |V_s^{(i)}|^2 G_i/2) + (P_r^{(i)} - |V_r^{(i)}|^2 G_i/2) \right) = \varepsilon_{2i} \\ (I_L^{(i)})^2 X - \left((Q_s^{(i)} + |V_s^{(i)}|^2 B/2) + (Q_r^{(i)} + |V_r^{(i)}|^2 B/2) \right) = \varepsilon_{3i} \end{cases} \quad (1.12)$$

где

$$I_L^{(i)} = \sqrt{(P_s^{(i)} - |V_s^{(i)}|^2 G_i/2)^2 + (Q_s^{(i)} + |V_s^{(i)}|^2 B/2)^2 / |V_s^{(i)}|^2} \quad (1.13)$$

Значение $i = 1, 2 \dots n$ и представляет собой набор исходных данных. Чем больше набор исходных данных, тем точнее оценка параметров. Путем различных испытаний [14] было выявлено, что шести измерений для каждого параметра достаточно для получения удовлетворительных результатов.

Поскольку число уравнений больше, чем неизвестных параметров, необходимо минимизировать ошибку измерений.

Чтобы обеспечить хорошие результаты, предпочтительно, чтобы шесть измерений параметров электрического режима, выбранных для расчета, имели большие различия между собой.

2. Методы решения системы уравнений для задачи верификации параметров ЛЭП по данным СВИ

2.1. Метод Гаусса

Для реализации метода, указанного в п. 1.2.2 необходимо первоначально произвести решение системы линейных алгебраических уравнений.

Метод Гаусса относится к прямым методам, но ошибки, полученные на предыдущих шагах во время прямого хода, накапливаются. Учитывая, что исходные данные, поступающие из автоматизированной системы мониторинга переходных режимов (АС СМНР) уже имеют отклонения от фактических значений, то решение системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) методом Гаусса с прямым ходом невозможно. Чтобы этого избежать, применяется модификация метода Гаусса с выбором главного элемента. Алгоритм метода состоит из двух этапов. Первый этап называется прямым ходом метода и заключается в последовательном исключении неизвестных из уравнений. Для более наглядного объяснения преобразуем систему уравнений 1.4 к виду:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{14}x_4 = a_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4 = a_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + a_{34}x_4 = a_3 \\ a_{41}x_1 + a_{42}x_2 + a_{43}x_3 + a_{44}x_4 = a_4 \end{cases} \quad (2.1)$$

где $x_1=G_y$, $x_2=G_z$, $x_3=B_y$, $x_4=B_z$. Коэффициенты $a_{11}, a_{22}, \dots, a_{ij}$, а также a_1, a_2, a_3, a_4 в виде правых частей указаны ниже.

$$\left(\begin{array}{cccc|c} |U_1|^2 & |U_1|^2 - |U_1||U_2|\cos(\delta) & 0 & |U_1||U_2|\sin(\delta) & P_1 \\ 0 & -|U_1||U_2|\sin(\delta) & -|U_1|^2 & |U_1|^2 - |U_1||U_2|\cos(\delta) & Q_1 \\ -|U_2|^2 & -|U_2|^2 + |U_1||U_2|\cos(\delta) & 0 & |U_1||U_2|\sin(\delta) & P_2 \\ 0 & -|U_1||U_2|\sin(\delta) & |U_2|^2 & -|U_2|^2 + |U_1||U_2|\cos(\delta) & Q_2 \end{array} \right)$$

Из первого уравнения системы (2.1) выражаем неизвестное x_1 :

$$x_1 = (a_1 - a_{12}x_2 - a_{13}x_3 - a_{14}x_4) / a_{11} \quad (2.2)$$

что возможно при $a_{11} \neq 0$, в противном случае надо осуществить перестановку уравнений системы. Согласно формуле (2.2) необходимо каждый элемент первой строки расширенной матрицы СЛАУ поделить на диагональный элемент

$$a_{1j}^{(1)} = a_{1j} / a_{11} \quad (2.3)$$

Затем подставляем выражение (2.2) во все остальные уравнения системы, тем самым исключаем x_1 из всех уравнений, кроме первого. Элементы расширенной матрицы преобразуем по формуле

$$a_{ij}^{(1)} = a_{ij} - a_{i1} a_{1j}^{(1)} \quad (2.4)$$

В результате исключения первого неизвестного x_1 из всех уравнений все элементы первого столбца преобразований матрицы будут равны нулю, кроме

$$a_{11}^{(1)} = 1.$$

Неизвестное x_2 выразим из второго уравнения системы и исключим из остальных уравнений и т.д. В результате получим СЛАУ с верхней треугольной матрицей, у которой все элементы ниже главной диагонали равны нулю.

Запишем выражения для неизвестных x_k и преобразования элементов расширенной матрицы системы, которые обобщают формулы (2.2) - (2.4):

$$\begin{aligned} x_k &= \frac{(a_k - \sum_{j=k+1}^n a_{kj} x_j)}{a_{kk}}; \\ a_{kj}^{m+1} &= \frac{a_{kj}^{(m)}}{a_{kk}^{(m)}}; \\ a_{ij}^{m+1} &= a_{ij}^{(m)} - a_{ik}^{(m)} a_{kj}^{(m)}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Второй этап решения СЛАУ называется обратным ходом метода Гаусса и состоит в последовательном определении неизвестных x_k по первой формуле (2.5), начиная с неизвестного x_n и заканчивая x_1 .

Точность результатов будет определяться точностью выполнения арифметических операций при преобразовании элементов матрицы. Для

уменьшения погрешности при делении на диагональный элемент (вторая формула (2.5)) рекомендуется осуществить такую перестановку уравнений, чтобы поставить на диагональ наибольший по модулю из всех элементов рассматриваемого столбца. Такая процедура называется выбором главного элемента столбца

Количество арифметических операций в методе Гаусса связано с размерностью системы и примерно равно $2/3 n^3$. Контроль полученных решений можно провести путем их подстановки в исходную СЛАУ и вычисления невязок r_k разностей между правыми и левыми частями уравнений:

$$r_k = a_k - \sum_{j=1}^n a_{kj} x_j$$

При малой погрешности решений величины r_k будут близки к нулю. Подробное описание алгоритма отображено на рис.2.1. Стоит отметить, что для реализации алгоритма был создан класс LinearSystem. Данный класс содержит в себе 6 методов:

1. Поиск максимально ведущего элемента,
2. Перестановка строк,
3. Перестановка свободных членов,
4. Приведение матрицы к треугольному виду,
5. Обратных ход метода Гаусса
6. Расчет невязок уравнений

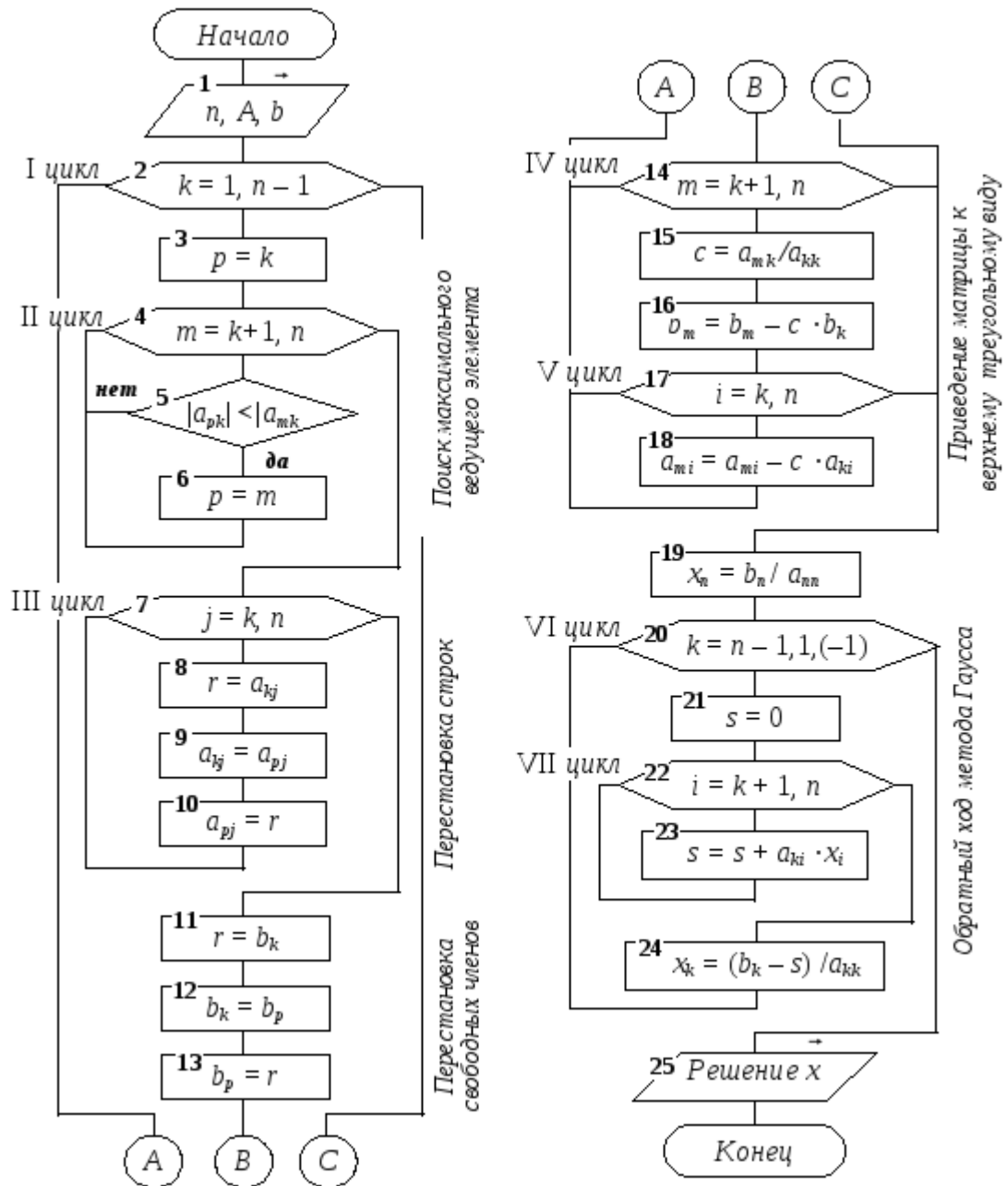


Рисунок 2.1. Алгоритм Метода Гаусса с выбором главного элемента

Для тестовых испытаний алгоритма и оценки применимости данного метода было написано консольное приложение для определения параметров ЛЭП. Инициализация СВИ производится в теле кода в виде двух массивов: `pmc_object1[]` и `pmc_object2[]`. Угол δ между векторами напряжения рассчитывается исходя из замеров на каждом объекте. Результаты работы программы отображены на рис.2.2. Как можно заметить, данный метод подходит для задачи определения параметров ЛЭП по данным СВИ. Точность расчета параметров удовлетворяет требованиям[17].

```
X1=1,119709047741E-07
X2=0,00131429666784558
X3=0,000419354137301293
X4=0,015012641436001

R=5,78713095156794
X=66,1038896655565
B=0,000838708274602587
G=2,23941809548201E-07
```

Рисунок 2.2. Результаты решения СЛАУ

Проведенные тестирования показали, что применение данного алгоритма возможно в большинстве случаев. За множество испытаний СЛАУ всегда находило решения. Но стоит отметить, что данный алгоритм очень чувствителен к исходным данным и не применим к близким к вырожденным матрицам. Но его большое быстродействие позволяет использовать при решении большинства задач.

2.2. Метод SVD

При решении системы линейных алгебраических уравнений с малыми возмущениями в исходных данных классическими методами (например методом Гаусса) накапливается вычислительная погрешность [26]. Так как погрешность значений СВИ может достигать 1,1% [27], то применимость таких методов при определенных коэффициентах матрицы и вырожденности невозможна. Поэтому, для решения таких СЛАУ применяется метод сингулярного разложения (SVD) [28].

Сингулярным разложением (Singular Value Decomposition) матрицы A размерностью $M \times N$ называется всякое ее преобразование в произведение других объектов или факторов вида

$$A = U \Sigma V^T$$

где U – ортогональная матрица $M \times M$, V – ортогональная матрица $N \times N$, Σ – диагональная матрица $M \times N$ у которой сингулярные числа и сингулярные вектора больше или равны нулю.

Диагональные элементы Σ называются сингулярными числами.

Применение метода сингулярного разложения обусловлено следующими причинами:

- SVD разложение является устойчивым, при малых возмущениях матрицы A в матрице Σ наблюдаются незначительные возмущения, которые не могут повлиять на решение системы уравнений
- Наличие диагональной матрицы Σ позволяет понять является ли матрица A вырожденной. В таком случае сингулярное разложение дает понизить ранг матрицы A с наименьшей погрешностью.

Для проверки применимости данного метода к задаче верификации параметров ЛЭП, создадим консольное приложение (рис. 2.3).

```
sigma[ 1 ]= 379017,820774695
sigma[ 2 ]= 31515,3243537952
sigma[ 3 ]= 31515,3243537952
sigma[ 4 ]= 379017,820774695

x[ 1 ]= 1,11970904773902E-07
x[ 2 ]= 0,00131429666784558
x[ 3 ]= 0,000419354137301292
x[ 4 ]= 0,0150126414360009
R=5,78713095156796
X=66,1038896655565
B=0,000838708274602585
G=2,23941809547804E-07

Программа завершена
```

Рисунок 2.3. Консольная реализация метода SVD

2.3. Тестирование и сравнение алгоритмов

Проверку предлагаемых методов решения СЛАУ для задачи верификации расчетной модели произведем с помощью исходных данных режима, экспортируемых из АС СМПП.

Произведем прямое сравнение потерь на следующих энергообъектах:

- 1) ВЛ 500 кВ ПС Восход – Витязь
- 2) ВЛ 500 кВ Братский ПП – Озерная
- 3) ВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Озерная

Рассмотрим применение предлагаемой методики верификации параметров ЛЭП путем сравнения результатов расчета параметров. Параметры расчетной модели, указанные в табл.2.1, примем за эталон.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Программу, как любое техническое решение необходимо рассматривать с экономической точки зрения экономической целесообразности и пользы. Целью технико-экономического обоснования разработки является количественное и качественное доказательство экономической целесообразности усовершенствования программы, а также определение организационно-экономических условий ее эффективного функционирования.

Эффективность программного модуля определяется его качеством и эффективностью процесса разработки и сопровождения. Качество программного изделия определяется тремя составляющими:

- с точки зрения специалиста-пользователя данного программного продукта;
- с позиции использования ресурсов и их оценки;
- по выполнению требований на программное изделие.

Программное изделие должно быть разработано так, чтобы оно выполняло свои функции без лишних затрат ресурсов (оперативной памяти ЭВМ, машинного времени, пропускной способности каналов передачи данных и др. – на стадии функционирования; время разработки и денежных ресурсов – на стадии использования программного изделия).

Содержание технико-экономического обоснования разработки программы заключается в следующем:

- расчет технико-экономических показателей и выбор базы сравнения;
- определение трудоемкости и стоимости программного обеспечения (ПО);
- расчет цены ПО;

- расчет капитальных и эксплуатационных затрат на разработку;
- определение показателей финансово-экономической эффективности.

Исходные данные для проведения расчётов представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Исходные данные для проведения расчётов

Обозначение	Наименование показателя	Единицы измерения	Значение показателя
$C_{ЭВМ}$	Стоимость ЭВМ	тыс. руб.	60
D_M	Среднее количество дней в месяце	дни	26
ρ_n	Норматив рентабельности	–	0,20
ω_d	Коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату разработчика программы	–	0,20
ω_c	Коэффициент, учитывающий начисления органам социального страхования	–	0,30
ω_n	Коэффициент, учитывающий накладные расходы организации	–	1,35
q_I	Количество I-задач, решаемых потребителем	зад. год	48
$t_{M.V.I}$	Время решения I-ой задачи разработанной программой	маш. час	0,25
$t'_{M.V.I}$	Время решения I-ой задачи базовой программой	маш. час	8
n_n	Количество организаций, которые приобретут данную программу	шт.	1
$Z_{ЭЛ}$	Тариф за 1 кВт/час (для Вашего региона)	руб.	5,8
ϵ_n	Нормативный коэффициент эффективности капиталовложений	–	0,25
T_c	Срок службы разработанной программы	год	5
HDC	Налог на добавленную стоимость	%	20
T_p	Количество рабочих дней в году	дн	251
N_{CM}	Количество смен работы ЭВМ	–	1
t_{CM}	Продолжительность смены	ч	6
α	Простои ЭВМ	%	5
P	Мощность, потребляемая ЭВМ	кВт	0,5
N_{CP}	Среднее количество ремонтов в год	–	1
S_d	Стоимость деталей, заменяемых при ремонте	руб.	5000

Расчет затрат на разработку программы

Суммарные затраты на разработку программы рассчитываются по следующей формуле:

$$S_{PI} = S_{ЗП} + S_{НАК},$$

где: $S_{ЗП}$ – затраты по заработной плате инженера-программиста;

$S_{НАК}$ – накладные расходы.

Затраты по заработной плате инженера-программиста рассчитываются по формуле:

$$S_{ЗП} = ОЗП \cdot (1 + \omega_c) \cdot (1 + \omega_d) \cdot t_{pi} = 13170 \cdot (1 + 0,3) \cdot (1 + 0,2) \cdot 3 = 61635,6 \text{ руб.},$$

где: $ОЗП$ – основная заработная плата инженера-программиста за месяц;

t_{pi} – время, необходимое для разработки программы программистом i -го разряда (чел.-мес.);

ω_d – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату разработчика программы, в долях к сумме основной заработной платы;

ω_c – коэффициент, учитывающий начисления органам социального страхования на заработную плату разработчика программы, в долях к сумме основной заработной плате разработчика.

Таблица 5.2 – Календарный план-график проведения НИОКР

№	Вид работ	Продолжительность выполнения работ													
		Окт			Нояб			Дек			Янв			Фев	
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	Составление и утверждение задания на ВКР	■													
2	Определение объема работ	■													
3	Создание плана работы, подготовка литературных источников и справочных данных		■												
4	Обзор литературы		■												
5	Реализация алгоритма верификации ЛЭП по данным СВИ			■	■	■									
6	Реализация алгоритма верификации ЛЭП по данным ТИ						■	■	■	■					
7	Тестирование алгоритмов, исправление кода										■	■			
8	Создание графического интерфейса											■	■		
9	Импорт данных из ОИК												■		
10	Создание пояснительной записки (ПЗ) по выполненной работе												■		
11	Согласование ПС с научным руководителем													■	
12	Внесение корректировок в проект													■	
13	Формирование комплекта документации по проекту													■	
14	Проверка документации научным руководителем													■	
15	Сдача готового проекта													■	

■ – Руководитель (Р)

■ – Студент (С)

Программа разрабатывалась 78 дней (таблица 4.2), если учесть, что в одном месяце, в среднем, 26 рабочих дня, то:

$$t_{pi} = 78 / 26 = 3 \text{ (чел. – мес.)}$$

Накладные затраты рассчитываются с учетом ω_H – коэффициента, определяющего уровень накладных расходов организации по формуле:

$$S_{НАК} = ОЗП \cdot \omega_H \cdot t_{pi} = 13170 \cdot 1,35 \cdot 3 = 53338,5 \text{ руб.}$$

Итого, суммарные затраты на разработку:

$$S_{PI} = S_{ЗИ} + S_{НАК} = 61635,6 + 53338,5 = 114974,1 \text{ руб.}$$

Расчет цены разработанной программы

Оптовая цена разработанной программы определяется по следующей формуле:

$$Z_{II} = S_{PI} + П = 114974,1 + 22994,82 = 137968,92 \text{ руб.},$$

где: Z_{II} – оптовая цена (цена разработчика) (руб.);

S_{PI} – суммарные затраты на разработку программы (руб.);

$П$ – прибыль, рассчитанная по формуле:

$$П = \rho_H \cdot S_{PI} = 0,2 \cdot 114974,1 = 22994,82 \text{ руб.},$$

где: ρ_H – норматив рентабельности, учитывающий прибыль организации, разрабатывающей данную программу в долях ко всем затратам данной организации на разработку программы.

Розничная цена программы рассчитывается с учетом налога на добавленную стоимость ($НДС = 20\%$) по формуле:

$$Z_{IP} = Z_{II} + НДС = 137968,92 \cdot (1 + 0,2) = 165562,7 \text{ руб.}$$

Выручка от продаж при условии n_{II} – количество организаций, желающих приобрести программу, составит:

$$B = Z_{IP} \cdot n_{II} = 165562,7 \cdot 1 = 165562,7 \text{ руб.}$$

Расчет капитальных вложений

Капиталовложения, связанные с работой ЭВМ рассчитываются по формуле:

$$\begin{aligned} K_{ЭВМ} &= C_{ЭВМ} + S_T + S_M + S_3 + S_{ПЛ} \\ &= 60000 + 3000 + 2070 + 9000 = 74070 \text{ руб.}, \end{aligned}$$

где: $C_{ЭВМ}$ – стоимость ЭВМ (руб.);

$S_T = 0,05 \cdot C_{ЭВМ} = 0,05 \cdot 60000 = 3000$ руб – стоимость транспортировки ЭВМ (руб.);

$S_M = 0,03 \cdot (C_{ЭВМ} + S_3) = 0,03 \cdot (60000 + 9000) = 2070$ руб – стоимость монтажа ЭВМ (руб.);

$S_3 = 0,15 \cdot C_{ЭВМ} = 0,15 \cdot 60000 = 9000$ руб – стоимость запасных частей (руб.);

$S_{Пл}$ – стоимость площади установки ЭВМ (руб.).

Так как площадь, отводимая под установку ЭВМ, в данном случае не существенна, то этим коэффициентом можно пренебречь, примем его равным 1.

Расчет эксплуатационных расходов

Эксплуатационные расходы на ЭВМ рассчитываются по формуле:

$$E = (T_{М.В.} \cdot e_{ч}) + \frac{Z_{П}}{T_{С}} = (62,75 \cdot 320,8) + \frac{137968,92}{5} = 47723,98 \text{ руб,}$$

где: $T_{М.В.}$ – машинное время для решения задач с помощью разработанной программы, (маш.час/год);

$e_{ч}$ – эксплуатационные расходы, приходящиеся на 1 час работы ЭВМ;

$Z_{П}$ – цена, по которой продается программа (руб.);

$T_{С}$ – срок службы программы (г).

Полезный фонд времени работы ЭВМ рассчитывается по формуле:
откуда взялось

$$T_{ПОЛ} = T_{ОБЩ} \cdot t_{СМ} \cdot N_{СМ} \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right) =$$
$$251 \cdot 6 \cdot 1 \cdot \left(1 - \frac{5}{100}\right) = 1430,7 \text{ маш.час / год,}$$

где: $T_{\text{общ}}$ – общий фонд времени работы ЭВМ (дни); $T_{\text{общ}} = T_P$;

$N_{\text{см}}$ – количество смен работы ЭВМ;

$t_{\text{см}}$ – время одного рабочего дня (час);

α – простои ЭВМ в % от общего фонда времени работы ЭВМ).

Машинное время для решения задач с помощью данной программы рассчитывается по формуле:

$$T_{M.B} = q_I \cdot t_{M.B.I} = 251 \cdot 0,25 = 62,75 \text{ маш.час} / \text{год},$$

где: q_I – количество I-задач, решаемых потребителем в год(шт.);

$t_{M.B.I}$ – время решения I-ой задачи, разработанной программой (маш.час).

Эксплуатационные расходы, приходящиеся на 1 час работы ЭВМ, оцениваются по формуле:

$$e_q = \frac{(A_O + S_{ЗП} + S_{ЭЛ} + R_{PM})}{T_{\text{ПОЛ}}} = \frac{(14814 + 433742,4 + 5443,3 + 5000)}{1430,7} = 320,8 \text{ руб} / \text{час},$$

где: A_O – амортизационные отчисления (руб.);

$S_{ЗП}$ – затраты по заработной плате инженера в год (руб./год);

$S_{ЭЛ}$ – стоимость потребляемой энергии (руб.);

R_{PM} – затраты на ремонт ЭВМ (руб.);

$T_{\text{ПОЛ}}$ – полезный годовой фонд работы ЭВМ, (маш.час/год).

Амортизационные отчисления рассчитываются с учетом нормы амортизации на оборудование и ПО

$$A_O = \alpha_H \cdot K_{ЭВМ} = 0,2 \cdot 74070 = 14814 \text{ руб},$$

$$\alpha_H = 1 / Tc = 1 / 5 = 0,2$$

Затраты по заработной плате инженера за год рассчитывается по формуле:

$$S_{зп} = ОЗП \cdot (1 + \omega_c) \cdot (1 + \omega_d) \cdot 12 = \\ 23170 \cdot (1 + 0,3) \cdot (1 + 0,2) \cdot 12 = 433742,4 \text{ руб},$$

где: ω_c – коэффициент, учитывающий начисления органам социального страхования на заработную плату разработчика программы, в долях к сумме основной заработной плате разработчика.

ω_d – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату разработчика программы, в долях к сумме основной заработной платы;

ОЗП – основная заработная плата инженера за месяц

Стоимость потребляемой энергии оценивается по формуле:

$$S_{эл} = P \cdot T_{пол} \cdot Z_{эл} = 0,5 \cdot 1430,7 \cdot 5,8 = 4149,1 \text{ руб},$$

где: P – мощность, потребляемая ЭВМ (кВт);

$T_{пол}$ – полезный годовой фонд работы ЭВМ (маш. час/год);

$Z_{эл}$ – тариф за 1 кВт/час (руб. /кВт).

Затраты на ремонт ЭВМ вычисляются по формуле:

$$R_{рм} = N_{ср} \cdot S_d = 1 \cdot 5000 = 5000 \text{ руб},$$

где: $N_{ср}$ – среднее количество ремонтов в год;

S_d – стоимость деталей заменяемых при одном ремонте, в среднем.

Расчет денежного годового экономического эффекта

Денежный годовой экономический эффект оценивается по следующей формуле:

$$\Delta W_{ГЭ} = \Delta E_{М.Э.} + \varepsilon_H \cdot \Delta K_{Э} = 19258,4 + 0,25 \cdot 5011,66 = 20511,1 \text{ руб}$$

где: $\Delta E_{М.Э.}$ – экономия стоимости машинного времени (руб.);

ε_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$\Delta K_{Э}$ – экономия капитальных вложений (руб.).

Расчет экономии капитальных вложений производится по формуле:

$$\Delta K_{Э} = \frac{(T_{М.В.1} - T_{М.В.2}) \cdot K_{ЭВМ}}{T_{ПОЛ}} = \frac{(384 - 251) \cdot 74070}{1430,7} = 6885,66 \text{ руб},$$

где: $T_{М.В.2}$ – машинное время для решения задач с помощью разработанной программы (маш. час/год);

$K_{ЭВМ}$ – капиталовложения в ЭВМ (руб.);

$T_{ПОЛ}$ – полезный годовой фонд работы ЭВМ (маш. час/год);

$T_{М.В.1}$ – машинное время для решения задач базовой программой рассчитывается с учетом $t'_{М.В.1}$ – время решения I-ой задачи базовой программой:

$$T_{М.В.1} = q_I \cdot t'_{М.В.1} = 48 \cdot 8 = 384 \text{ маш.час / год},$$

Расчет экономии стоимости машинного времени производится по формуле:

$$\Delta E_{Э} = (T_{М.В.1} - T_{М.В.2}) \cdot e_{ч} = (384 - 251) \cdot 320,8 = 42666,4 \text{ руб},$$

где: $e_{ч}$ – эксплуатационные расходы, приходящиеся на 1 час работы ЭВМ;

$T_{М.В.1}$ – машинное время для решения задач базовой программой (маш. час/год);

$T_{М.В.2}$ – машинное время для решения задач с помощью разработанной программы (маш. час/год)

Вывод

Обобщенные технико-экономические показатели разработки программы сведены в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Единица измерения	Значения показателя
Программа для верификации параметров ЛЭП		обозначение, маркировка
Затраты на разработку программы	руб.	114974,1
Капиталовложения в ЭВМ	руб.	74070
Расходы на зарплату и отчисления на социальные нужды	руб.	433742,4
Расходы на амортизацию	руб.	14814
Расходы на ремонт	руб.	5000
Расходы на электроэнергию	руб.	5443,3
Расходы по содержанию объекта в эксплуатации	руб.	47723,98
Экономия капиталовложений	руб.	6885,66
Экономия средств от использования программы	руб.	19258,4
Годовой экономический эффект	руб.	20511,1

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод об экономической эффективности разработки программы.

6. Социальная ответственность

Целью исследования является разработка программного комплекса для верификации параметров линии электропередачи в математических моделях для расчетов установившихся режимов электроэнергетических систем.

Согласно заданию, планируется исследовать существующие алгоритмы верификации, реализовать их при помощи инструментов для программирования, оценить результаты расчёта моделей, сравнить с эталонными параметрами ЛЭП. Для выполнения работы необходимо использование в качестве рабочего места компьютерного стола с ЭВМ, соответствующего периферийного оборудования (компьютерная клавиатура, мышь и т. д.) и программного обеспечения (MS Word, Visio, Mathcad, Visual Studio 2017). Потенциальными пользователями разрабатываемой программы являются сотрудники службы электрических режимов АО «СО ЕЭС». Использование данного программного комплекса позволит производить регламентную актуализацию расчетной модели оперируя данными, предоставленными собственниками оборудования, а также создаст инструмент для верификации этих данных.

В разделе будут рассмотрены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на процесс исследования нового алгоритма группой исследователей, рассмотрены воздействия исследуемого объекта на окружающую среду, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации [18]. В этом документе указано, что охрана здоровья

трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются одной из главных забот государства.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

В трудовом кодексе Российской Федерации говорится, что нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником.

6.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место при работе с ПК должно составлять не менее чем 6 кв. м [20]. Разработка программного комплекса и анализ методов верификации параметров ЛЭП производилась в аудитории 249 (8 учебный корпус ТПУ) общей площадью 50 кв.м, по 4,5 кв.м на одного оператора ЭВМ, что допустимо лишь при использовании плоских дискретных экранов ПК (в данном случае так и есть). Пространство для ног должно соответствовать следующим параметрам: высота пространства для ног не менее 600 мм, расстояние сиденья до нижнего края рабочей поверхности не менее 150мм, а высота сиденья 420 мм [21]. Стоит заметить, что высота стола должна зависеть от роста оператора, однако, это не учтено в данном помещении (все столы одинаковой высоты).

Так же предусмотрены следующие требования к организации рабочего места пользователя ПЭВМ: Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ. Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию [20]. В данном случае так же очевидно несоответствие нормам, так как в этом помещении обычные стулья, без регулировки по высоте.

6.2. Производственная безопасность

6.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

В ходе выполнения ВКР производится исследования влияния точности задания параметров ЛЭП в математических моделях для расчетов установившихся режимов электроэнергетических систем. Можно сделать вывод, что сам объект исследования не может создать вредных и опасных факторов.

6.2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Согласно номенклатуре, опасные и вредные факторы по ГОСТ 12.0.003-2015 делятся на следующие группы: физические; химические; психофизиологические; биологические. Перечень опасных и вредных факторов, влияющих на персонал в заданных условиях деятельности, представлен в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы [20]	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Отладка	Тестирование	
а) Повышенный уровень электромагнитного излучения	+	+	+	<ul style="list-style-type: none"> СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.
б) Недостаточная освещённость рабочей зоны	+	+	+	
в) Превышение уровня шума	+	+	+	
г) Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	
д) Поражение электрическим током	+	+	+	

Эти факторы могут влиять на состояние здоровья, привести к травмоопасной или аварийной ситуации, поэтому следует установить эффективный контроль за соблюдением норм и требований, предъявленных к их параметрам.

При проведении работ, связанных с теоретическим исследованием, важную роль играет планировка рабочего места. Она должна соответствовать правилам охраны труда и удовлетворять требованиям удобства выполнения работы, экономии энергии и времени инженера.

Основным документом, определяющим условия труда на персональных ЭВМ, являются «Гигиенические требования к персональным

электронно-вычислительным машинам и организации работы». Санитарные нормы и правила СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, которые были введены 30 июня 2003 года. В Правилах указаны основные требования к помещениям, микроклимату, шуму и вибрации, освещению помещений и рабочих мест, организации и оборудованию рабочих мест.

Основным опасным фактором является опасность поражения электрическим током. Исходя из анализа состояния помещения, рабочее место инженера, занимающегося теоретическими исследованиями, по степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности, согласно ПУЭ.

Отклонение показателей микроклимата

Значимым физическим фактором является микроклимат рабочей зоны (температура, влажность и скорость движения воздуха).

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха влияют на теплообмен и необходимо учитывать их комплексное воздействие. Нарушение теплообмена вызывает тепловую гипертермию, или перегрев.

Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха производственных помещений для работ, производимых сидя и не требующих систематического физического напряжения (категория Ia), приведены в табл. 6.2, в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и [19].

Таблица 6.2 – Нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, не более м/с
Холодный	Ia	22÷24	40÷60	0,1
Тёплый	Ia	23÷25	40÷60	0,1

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека

на период 8- часовой рабочей смены. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах представлены в табл. 6.3.

Таблица 6.3 – Допустимые величины показателей микроклимата

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, не более м/с
Холодный	Ia	20÷25	15÷75	0,1
Тёплый	Ia	21÷28	40÷75	0,1÷0,2

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Источниками света могут быть как естественные, так и искусственные объекты. Естественным источником в помещении служит солнце, искусственными являются электрические лампочки. При длительной работе в условиях недостаточной освещенности и при нарушении других параметров световой среды зрительное восприятие снижается, развивается близорукость, болезнь глаз, появляются головные боли.

По нормативу [20] освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

Повышенный уровень шума

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Среди многочисленных проявлений неблагоприятного

воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда, появление шумовой патологии. ПДУ шума для объектов типа аудитории для теоретических разработок нормируются ГОСТ 12.1.003-2014, СанПиН 2.2.4/2.4.1340-03. Значения представлены в табл. 6.4 (для постоянных шумов).

Таблица 6.4 – Значения ПДУ шума

Рабочее место	Уровни звукового давления (Дб) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Учебная аудитория	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Повышенный уровень электромагнитного излучения

Электромагнитным излучением называется излучение, прямо или косвенно вызывающее ионизацию среды. Контакт с электромагнитными излучениями представляет существенную опасность для человека, по сравнению с другими вредными факторами (повышенное зрительное напряжение, психологическая перегрузка, сохранение длительное время неизменной рабочей позы). В рассматриваемом случае источником электромагнитного излучения является компьютерная техника. Длительное воздействие интенсивных электромагнитных излучений промышленной частоты может вызывать повышенную утомляемость, появление сердечных болей, нарушение функций центральной нервной системы.

Нормы электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ приведены в табл. 6.5, в соответствии с [20].

Таблица 6.5 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемые ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряжённость электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Поражение электрическим током

Знание допустимых для человека значений тока и напряжения позволяет правильно оценить опасность поражения и определить требования к защитным мерам от поражения электрическим током.

ГОСТ 12.1.038-82 устанавливает предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека. Под напряжением прикосновения понимается напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек. Нормы предназначены для проектирования способов и средств защиты от поражения электрическим током людей при их взаимодействии с электроустановками. Они соответствуют прохождению тока через тело человека по пути рука - рука или рука - ноги.

Стандарт предусматривает нормы для электроустановок при нормальном (неаварийном) режиме их работы, а также при аварийных режимах производственных и бытовых электроустановок.

Значения напряжения прикосновения и силы тока, протекающего через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме работы электроустановки, не должны превышать значений, приведенных в табл. 6.6.

Таблица 6.6 – Предельно допустимые значения напряжения соприкосновения и силы тока

Род и частота тока	Наибольшие допустимые значение	
	$U_{пр}, В$	$I_h, мА$
Переменный, 50 Гц	2	0,3
Переменный, 400 Гц	3	0,4
Постоянный	8	1,0

Для лиц, выполняющих работу в условиях высокой температуры и влажности (относительная влажность больше 75%), эти нормы должны быть уменьшены в три раза.

Психофизиологические факторы

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

6.2.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

Требования к помещениям для работы с ПЭВМ

В соответствии с основными требованиями к помещениям для эксплуатации ПЭВМ (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03) они должны иметь естественное и искусственное освещение. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с ВДТ на базе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) должна составлять не менее 6 м² и с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллических, плазменных) 4,5 м².

Микроклимат

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях

применяют вентиляцию. Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях соответствующего микроклимата. Периодически должен вестись контроль влажностью воздуха. В летнее время при высокой уличной температуре должны использоваться системы кондиционирования.

Радиаторы должны устанавливаться в нишах, прикрытых деревянными или металлическими решетками. При этом температура на поверхности нагревательных приборов не должна превышать 95 °С, чтобы исключить пригорание пыли [24].

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева. Также как средство защиты для минимизации воздействия фактора следует установка местного освещения из-за недостаточной освещенности, оконные проемы должны быть оборудованы регулируемые устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.

Если помещение не соответствует вышеописанным нормам то это влечет за собой ухудшение здоровья рабочих и как следствие ухудшение рабочего процесса.

Повышенный уровень шума

В исследовательских аудиториях имеют место шумы различного рода, которые генерируются как внутренними, так и внешними источниками шумов. В рассматриваемом случае внутренними источниками шумов являются рабочее оборудование, а именно персональный компьютер, принтер, вентиляционная система, а также компьютерная техника других инженеров, находящихся в аудитории. При возможном превышении ПДУ достаточно использовать в помещении звукопоглощающие материалы (звукопоглощающая облицовка стен и потолка, оконные шторы) [22]. Для уменьшения шума, проникающего

снаружи помещения, следует установить уплотнения по периметру притворов дверей и окон.

Электромагнитные излучения (ЭМИ)

При возможном превышении ПДУ возможны следующие меры защиты: увеличение расстояния между источником ЭМИ и рабочей зоной, установка отражающих или поглощающих экранов, размещение в специальных оболочках токоведущих элементов аппаратов и устройств.

Психофизиологические факторы

Для уменьшения физических нагрузок организма во время работы рекомендуется использовать специальную мебель с возможностью регулировки под конкретные антропометрические данные, например, эргономичное кресло.

Поражение электрическим током

Степень опасного воздействия на человека электрического тока зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути прохождения тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека;
- условий внешней среды.

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются:

- обеспечение недоступности токоведущих частей путём использования изоляции в корпусах оборудования;
- применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;
- использование защитного заземления, защитного зануления, защитного отключения (ГОСТ Р 12.1.019-2017);
- использование устройств бесперебойного питания.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Организационными мероприятиями по электробезопасности являются периодические и внеплановые инструктажи. Периодический инструктаж проводится всему неэлектротехническому персоналу, выполняющему следующие работы: включение и отключение электроприборов, уборка помещений вблизи электрощитов, розеток и выключателей и т. д. Весь неэлектротехнический персонал должен быть аттестован на первую квалификационную группу по электробезопасности. Периодический инструктаж проводится не менее одного раза в год.

Внеплановый инструктаж проводится руководителем подразделения при введении в эксплуатацию нового технического электрооборудования.

6.3. Экологическая безопасность

6.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

В ходе выполнения ВКР производится исследования влияния точности задания параметров ЛЭП в математических моделях для расчетов установившихся режимов электроэнергетических систем. Исходя из простых соображений, данное исследование особого влияния на окружающую среду не оказывает. В перспективе устройства, которые будут работать на основе алгоритма, разработанного в рамках исследования, нейтральны по отношению к окружающей среде, т. к. для работы они не будут требовать никаких видов топлива и, соответственно, не будут производить каких-либо выбросов вредных веществ.

Стоит отметить, что предложенные меры могут косвенным образом влиять на потребление топливных ресурсов и производство электроэнергии. К примеру, чем точнее мы знаем параметры схем замещения элементов ЭЭС, в частности ВЛ, тем точнее мы можем рассчитать режим энергосистемы. Это, в свою очередь, может привести к изменению перетоков мощности по линиям,

что подразумевает изменение количества потребляемых ресурсов, а также изменение количества потерь электрической энергии.

6.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Процесс исследования также не оказывает существенного влияния на состояние окружающей среды, т. к. исследование производится в рабочей (учебной) аудитории без применения природных ресурсов.

Очень опасным отходом являются отработанные энергосберегающие люминесцентные лампы. Ртуть относится к вредным веществам первой категории, и его неправильная утилизация сильно отравляет окружающую среду и находящихся рядом людей [23].

Устаревшая техника поступает на предприятие, имеющее право на переработку компьютеров. Благодаря применяемым технологиям по очистке составляющих компонентов из компьютерной техники можно выделить драгоценные металлы с чистотой в пределах 99,95–99,99 %. Замкнутый цикл производства состоит из следующих этапов: первичная сортировка оборудования; выделение драгоценных, черных и цветных металлов и других материалов; плавление; аффинаж и переработка металлов. Таким образом, происходит эффективная утилизация компьютерной техники.

5.3.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Снижение загрязнения возможно за счёт совершенствования оборудования, производящего электроэнергию, применения более экономичных и результативных технологий, использования новых методов получения электроэнергии и внедрения современных методов и способов очистки и обезвреживания отходов производства. Кроме того, эта проблема должна решаться и за счёт эффективного и экономного использования электроэнергии самими потребителями. Это использование более экономичного оборудования, а также эффективного режима загрузки этого оборудования. Сюда также включается и соблюдение производственной

дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением.

В современных компьютерах повсеместно используются режимы с пониженным потреблением электроэнергии при длительном простое.

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Расчет электрических режимов позволяет определять максимально-допустимые, аварийно-допустимые перетоки по сечениям. Диспетчер при ведении режима руководствуется рассчитанными режимами, исходя из МДП и АДП ведет режим. Также стоит отметить, что корректность задания исходных данных ЛЭП в расчетной модели влияет на корректность работы противоаварийной автоматики.

Объектом исследования является численные параметры ЛЭП в расчетной модели, определение их корректности. Некорректное задание параметров может привести к авариям в энергосистеме, а точнее обрыв ЛЭП в следствии перегрузки, выход из строя силового оборудования, следствием всего вышеперечисленного может служить:

- возгорание трансформаторного масла,
- попадание под шаговое напряжение,
- поражение человека электрическим током.

Корректный расчет параметров схемы замещения ЛЭП позволит избежать человеческого фактора при расчете режима, а как следствие повлечёт за собой снижения вероятных чрезвычайных ситуаций

6.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Основную опасность представляет возгорание. Пожар в рабочем

помещении разработчика может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

К причинам неэлектрического характера относятся халатное и неосторожное обращение с огнём (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов).

К причинам электрического характера относятся:

- короткое замыкание;
- перегрузка проводов;
- искрение;
- статическое электричество.

Режим короткого замыкания – появление в результате резкого возрастания силы тока, электрических искр, частиц расплавленного металла, электрической дуги, открытого огня, воспламенившейся изоляции.

Причины возникновения короткого замыкания:

- ошибки при проектировании;
- старение изоляции;
- увлажнение изоляции;
- механические перегрузки.

Пожарная опасность при перегрузках – чрезмерное нагревание отдельных элементов, которое может происходить при ошибках проектирования в случае длительного прохождения тока, превышающего номинальное значение.

6.4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Пожарная защита должна обеспечиваться применением средств пожаротушения, а также применением автоматических установок пожарной

сигнализации.

Должны быть приняты следующие меры противопожарной безопасности:

- обеспечение эффективного удаления дыма, т. к. в помещениях, имеющих оргтехнику, содержится большое количество пластиковых веществ, выделяющих при горении летучие ядовитые вещества и едкий дым;
- обеспечение правильных путей эвакуации;
- наличие огнетушителей и пожарной сигнализации;
- соблюдение всех противопожарных требований к системам отопления и кондиционирования воздуха.

Для тушения пожаров в рабочей зоне необходимо применять углекислотные (ОУ-5 или ОУ-10) и порошковые огнетушители (ОП-10), которые обладают высокой скоростью тушения, большим временем действия, возможностью тушения электроустановок, высокой эффективностью борьбы с огнём.

Рабочее помещение должно быть оборудовано пожарными извещателями, которые позволяют оповестить дежурный персонал о пожаре. Выведение людей из зоны пожара должно производиться по плану эвакуации.

План эвакуации представляет собой заранее разработанную схему, на которой указаны пути эвакуации, эвакуационные и аварийные выходы, установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации.

Согласно Постановлению Правительства №390, в зданиях и сооружениях при одновременном нахождении на этаже более 10 человек должны быть разработаны и на видных местах вывешены планы эвакуации людей в случае пожара.

План эвакуации людей при пожаре из помещения, где расположена рабочая аудитория инженера, представлен на рис. 5.1.

**ПЛАН ЭВАКУАЦИИ ПРИ ПОЖАРЕ И ДРУГИХ ЧС
из помещений корпуса № 8,
ул. Усова, 7 - 2 этаж**

Утверждаю
Начальник УЗО
ФГАОУ ВО НИ ТПУ
П. Н. Ковылин



Рисунок 6.1 – План эвакуации при пожаре

Выводы по разделу 6

В шестом разделе были рассмотрены вопросы социальной ответственности, к которым относятся профессиональная социальная безопасность, экологическая безопасность, а также безопасность в ЧС и правовые и организационные аспекты обеспечения безопасности. Все эти вопросы были изучены в приложении к процессу исследования нового алгоритма определения параметров схемы замещения.

По итогам пятого раздела необходимо отметить, что в части «Профессиональная социальная безопасность» были проанализированы вредные и опасные факторы, возникающие в ходе исследовательского процесса. К ним относятся отклонение микроклимата в помещении, недостаточная освещённость рабочей зоны, пожароопасность и поражение электрическим током. Все эти факторы при превышении установленных норм негативно влияют на здоровье человека, вызывая долгосрочные ухудшения его состояния или травмы.

В части «Экологическая безопасность» были рассмотрены возможные негативные последствия, влияющие на окружающую среду, в ходе рабочего процесса.

В качестве наиболее вероятной ЧС в заключительной части раздела была рассмотрена пожарная опасность. Для этой ЧС были разработаны организационные мероприятия по её предотвращению и устранению.

В целом, можно отметить, что установка и настройка устройств, в которых могут быть реализованы исследованные алгоритмы, может представлять собой набор типичных для электроустановок вредных и опасных как производственных, так и экологических факторов. Но для их конкретного описания необходимо тестирование уже готового устройства в реальных условиях. В перспективе, при соблюдении всех регламентов и норм данные устройства не представляют особых опасностей для персонала и другого оборудования на месте их установки.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе исследованы алгоритмы верификации параметров ЛЭП в расчетной модели как по данным телеизмерений, так и по данным УСВИ, а также разработан программный комплекс на языке программирования С#, позволяющий верифицировать данные параметры ЛЭП.

Практическая значимость данных исследований обусловлено тем, что в практической деятельности принято использовать в расчетной модели данные, предоставленные собственниками оборудования. Зачастую это приводит к значительным погрешностям в расчётах установившегося режима и отклонения рассчитанных значений МДП и АДП.

Для решения поставленных задач были использованы как встроенные библиотеки .NET, так и сторонние. Для модуля обработки ТИ – это AstraLib.dll, для импорта данных из СК-2007 – OICDAC.dll и т.д. Разработанный программный комплекс в своем составе имеет 6 основных классов, каждый из которых отвечает за выполнения различных функций.

Разработанное в данной ВКР приложение позволят автоматизировать актуализацию расчетных моделей в режиме offline, тем самым позволяет приблизить параметры элемента к фактическим значениям. А точность исходных параметров влияет на конечные результаты решения задач по управлению режимами энергосистемы.

Список публикаций студента

1. Статья «Выбор оптимальной ценовой категории для предприятий на примере ОАО «Суховский»» в сборнике статей Лучшая студенческая статья 2016. Издательство: "Наука и Просвещение", 11.2016 (доля участия – 1)
2. Статья в XII Международной Молодежной Научной Конференции "Тинчуринские Чтения" «Электроснабжение удаленных потребителей», 04.2017 (доля участия – 1)
3. Статья в сборнике статей 10 международной конференции "Инновации в технологиях и образовании" "Экономия энергоресурсов на ТЭЦ часть 2" 04.2017 (доля участия – 1)
4. Статья в материалах Международной научно-практической конференции «Научные достижения и открытия современной молодёжи» «Экономия энергоресурсов на ТЭЦ», 02.2017 (доля участия – 0,5)
5. Статья в сборнике материалов II Всероссийской (с Международным участием) молодежной научно-практической конференции «Введение в энергетику» Выбор оптимальной ценовой категории для предприятий на примере ОАО «Суховский» 11.2016 (доля участия – 0,5)
6. Статья в сборнике материалов II Всероссийской (с Международным участием) молодежной научно-практической конференции «Введение в энергетику» Проблемы привлечения инвестиций в строительство тепловой генерации 11.2016 (доля участия – 0,33)
7. Статья в сборнике научных статей 4-ой Российской молодежной научной школе-конференции "Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи" Исследование моделей рынка мощности в электроэнергетике 10.2016 (доля участия – 0,33)
8. Статья в сборнике научных статей 4-ой Российской молодежной научной школе-конференции "Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи" Проблемы привлечения инвестиций в строительство тепловой генерации 10.2016 (доля участия – 0,33)

9. Статья в сборнике материалов X Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «РОССИЯ МОЛОДАЯ - 2018». Мероприятия для повышения предельной передаваемой мощности по ЛЭП. 04.2018 (доля участия – 0,5)

10. Статья в сборнике статей XI Международной научно-практической конференции «Инновации в технологиях и образовании». Выбор оптимального метода регулирования напряжения с учётом статических характеристик нагрузок для удаленных потребителей. 05.2018 (доля участия – 0,5)

11. Статья в сборнике статей IX Международной молодежной научно-технической конференции «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ 2018». Влияние точности задания исходных данных расчетной модели на результаты расчетов установившихся режимов. 10.2018 (доля участия – 1)

12. Статья в сборнике участников IV Международного научно-исследовательского конкурса «ДОСТИЖЕНИЯ ВУЗОВСКОЙ НАУКИ 2018». Влияние погрешности в исходных данных расчетной модели на параметры установившихся режимов. 09.2018 (доля участия – 1)

13. Статья в журнале «Оперативное управление в электроэнергетике. Подготовка персонала и поддержание его квалификации». Определение корректности параметров расчетных моделей для расчетов установившихся режимов электроэнергетических систем. 04.2019 (доля участия – 0,5)

14. Статья в сборнике статей IX Международной молодежной научно-технической конференции «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ 2019». Разработка алгоритма верификации параметров ЛЭП для расчетов установившихся режимов электроэнергетических систем. 09.2019 (доля участия – 1)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ополева Г.Н. Оценивание состояния электроэнергетических систем при высокой чувствительности моделей к погрешностям исходных данных - 1984г.
2. РД 34.20.578-79 Методические указания по определению устойчивости энергосистем Часть II - 1979
3. Л.В. Цукерник, К.В. Коробчук, П.А. Черненко. Статистические модели оценки влияния погрешности исходных данных на результаты расчета установившегося режима и статической устойчивости энергосистем - 1972г.
4. В.И. Идельчик. Расчеты установившихся режимов электрических систем 1977 Москва Энергия 189 с.
5. Оценка чувствительности коэффициента запаса динамической устойчивости к случайной погрешности исходной информации. Л.В. Цукерник, П.А. Черненко 1974г
6. М.В. Андреев, Н.Ю. Рубан, А.А. Суворов, А.С. Гусев, А.О. Сулайманов. Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем. // Издательство Томского политехнического университета. – 2016. – 108с.
7. Черненко П. А. К статистическому анализу результатов расчета установившегося режима энергосистем.— В кн.: Проблемы технической электродинамики, 42. «Науко-ва думка», К., 19
8. Требования к созданию и актуализации РМ для расчетов установившихся режимов и статической устойчивости – АО «СО ЕЭС», Москва
9. Джумик Д.В., Гольдштейн Е.И., Хрущев Ю.В. Использование массивов мгновенных значений токов и напряжений в задачах формирования адаптивных моделей электроэнергетических систем, – Вестник УГТУ УПИ.
10. Абрамочкина Л.В. Идентификация погонных параметров протяженных линий электропередач // Радиоэлектроника, электротехника и

энергетика: Труды Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых - Томск. – Томск: ТПУ, 2011 - т. 1 - с. 237-241.

11. D. Ritzmann. Synchrophasor-based Overhead Line Impedance Monitoring. – University of Reading, April 2017.

12. Требования к созданию и актуализации РМ для расчетов установившихся режимов и статической устойчивости – АО «СО ЕЭС», Москва

13. Джумик Д.В., Гольдштейн Е.И., Хрущев Ю.В. Использование массивов мгновенных значений токов и напряжений в задачах формирования адаптивных моделей электроэнергетических систем, – Вестник УГТУ УПИ.

14. Yang Wang, Wilsun Xu, James Shen. Online Tracking of Transmission-Line Parameters Using SCADA Data. – IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 31, no. 2, April 2016.

15. СТО 59012820.29.020.001-2019. Стандарт релейная защита и автоматика. Система мониторинга переходных режимов. Нормы и требования – АО «СО ЕЭС», Москва 2019

16. D. Ritzmann. Synchrophasor-based Overhead Line Impedance Monitoring. – University of Reading, April 2017.

17. Горбоконенко В.Д., Шикина В.Е. Метрология в вопросах и ответах. – Ульяновск: УЛГТУ, 2005. – 196 с

18. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197;

19. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиеническими требованиями к микроклимату производственных помещений»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 13.06.2003 г.

20. СанПиН 2.2.2/2.4.1.1340-03. «Гигиеническими требованиями к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 15.06.2003 г.

21. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. М.: Стандартинформ, 2016.

22. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31.10.1996 г.

23. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.– М.: ИПК Издательство стандартов, 1976

24. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.– М.: Минрегион России, 2016

25. СНиП 21-01-97 от 1998-01-01 Пожарная безопасность зданий и сооружений.

26. Мудров А.Е. Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран и Паскаль, Томск: МП "РАСКО", 1991. - 272 с.

27. Веретенников А.С. Верификация параметров линии электропередачи в математических моделях для расчетов установившихся режимов электроэнергетических систем, Томск: ТПУ, 2019.

28. Форсайт Дж, Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений, Москва: Издательство «МИР», 1980. – 277 с.

Приложение А

Техническое задание на дипломный проект
«Разработка алгоритма верификации параметров линии
электропередачи в расчетных моделях и его программная реализация»

Исполнитель: _____ (А.С. Веретенников)

Руководитель ВКР

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

Консультант по выпускной квалификационной работе

Должность, место работы	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент, ОЭЭ ИШЭ ТПУ	Кац И.М.	К. Т. Н.		

Введение

Разрабатываемый программный комплекс позволит определять по данным векторных измерений или телеизмерений значения расчетных параметров линии электропередачи. Данное приложение предполагается применять для верификации параметров расчетных моделей ЛЭП при актуализации расчетных моделей ЭЭС, проводимой специалистами службы электрических режимов. Приложение работает в режиме offline. В своей работе оно предполагает в себе взаимодействие с источниками данных ОИК и АС СМПП, подключение библиотек RastrWin для проведения расчетов.

1. Основания для разработки

Для обеспечения соответствия между расчетной моделью ЭЭС и фактическими параметрами энергосистемы, необходимо чтобы параметры модели максимально были приближены к параметрам реальной энергосистемы. При составлении и актуализации расчетных моделей используются данные, предоставляемые собственниками оборудования. Зачастую данные параметры отличаются от реальных параметров электрооборудования энергообъектов, что приводит к недостоверности расчетных моделей. Другим возможным источником ошибок в расчетных моделях ЭЭС является некорректный ввод исходных данных.

Для задач верификации расчетной модели необходима разработка программного обеспечения, позволяющего по данным измерений проводить верификацию параметров ее элементов.

2. Назначение разработки

Выбор технических решений и создание ПК для решения задач верификации расчетных моделей при их актуализации СЭР АО «СО ЕЭС»

3. Принцип работы приложения

1. Выгрузка исходных данных о перетоках и напряжениях в узлах из АС СМПП.

2. В случае отсутствия данных в АС СМПП, импорт исходных данных происходит из ОИК и подключение к библиотеке AstraLib.dll RastrWin,

создание объекта Astra.Rastr и создание двухузловой схемы, моделирующую рассматриваемую ЛЭП изолированно от остальной схемы, с фактическим напряжением в одном из узлов, фактическим перетоком мощности в начале линии.

3. Расчет на основе полученных данных параметров ЛЭП.

Подробное описание выполняемых процессов, описывающих работу разрабатываемого ПК представлено на рисунке 1 в виде IDEF0 нотации.

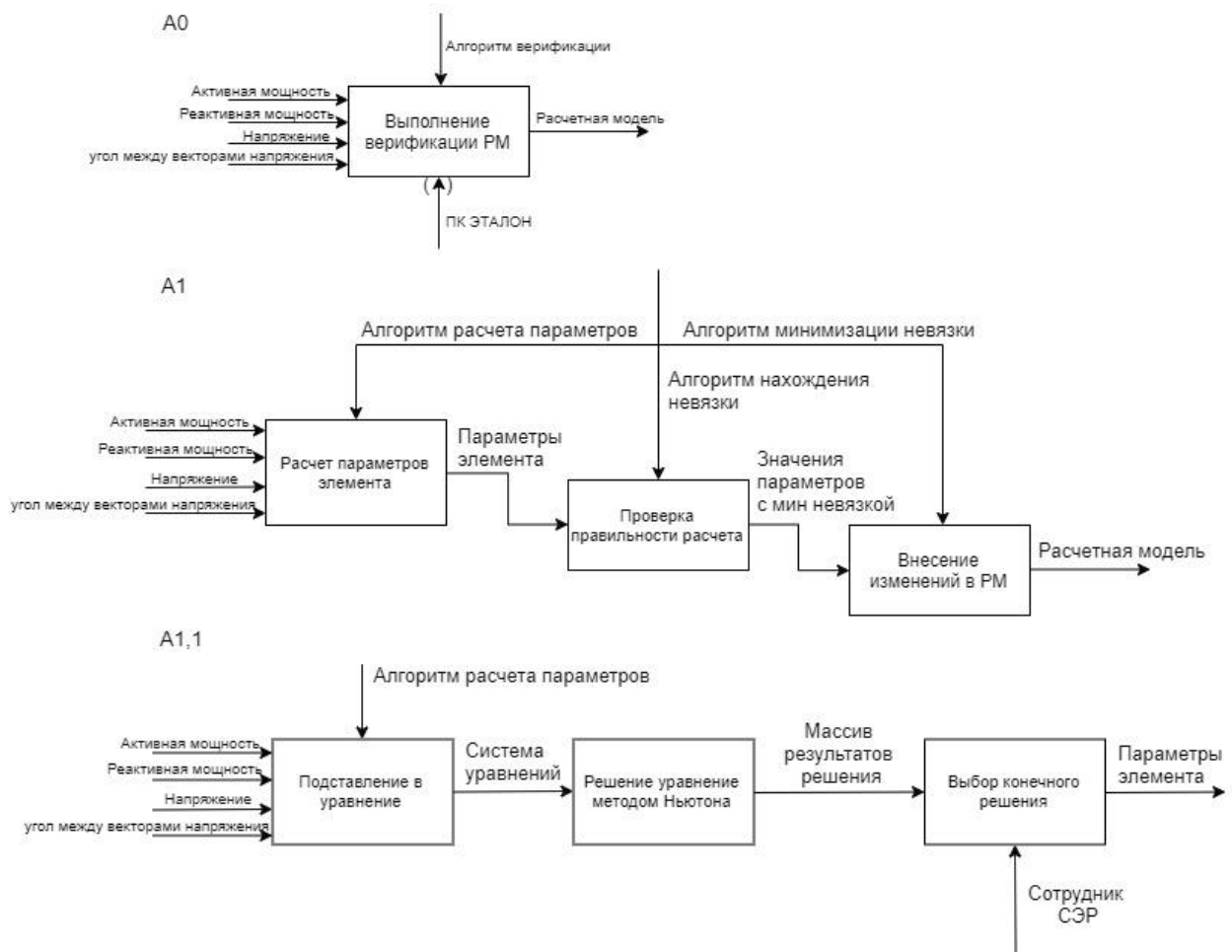


Рисунок 1. IDEF0 нотация процессов

4. Исходные данные для работы программы

Переток активной (P), реактивной (Q) мощности и напряжение (U) в начале и в конце ЛЭП – АС СМПР, при отсутствии данных – ОИК.

Угол между векторами напряжения (δ) – АС СМПР

5. Технические требования

5.1. Требования к функциональным характеристикам

5.1.1. Состав выполняемых функций

Создаваемый программный комплекс должен позволять выполнять следующие функции:

- Выбор источника исходной информации
- Определение перечня ЛЭП, для которых необходимо произвести верификацию параметров
- Подключаться к БД ОИК и загружать необходимую для расчета информацию
- Взаимодействие с библиотеками RastrWin
- Расчет параметров нескольких ЛЭП, входящих в энергорайон

Готовое решение должно содержать в себе отдельно возможность редактирования параметров ЛЭП.

5.1.2. Организация входных и выходных данных

Исходные данные поступают из двух источников информации: АС СМПП (в виде кадров согласно стандарту С37.118) и ОИК.

Структура данных, выгружаемых из источников данных:

- а) Активная мощность в начале и конце линии
- б) Реактивная мощность в начале и конце линии
- в) Напряжение на концах линии
- г) Угол между векторами напряжения

После выполнения расчетов необходимо произвести вывод полученных данных в пользовательскую форму, с помощью которой сотрудник СЭР будет производить оценку рассчитанных значений и осуществлять выбор линий электропередачи для внесения корректировок в расчетную модель.

В качестве выходных данных необходимо произвести редактирование модели и возможность сохранения на электронном носителе.

5.2. Требования к надежности

При проектировании ПК должны учитываться положения стандарта ГОСТ 24.701-86 «Межгосударственный стандарт. Единая система стандартов

автоматизированных систем управления. Надёжность автоматизированных систем управления. Основные положения.»

По результатам выполнения ПК должны быть сформированы требования к надёжности каждой группы функций в рамках одного ДЦ Заказчика и в рамках АО «СО ЕЭС».

5.3 Требования к информационной и программной совместимости

Программный комплекс должен быть реализован на языке программирования С# и использовании библиотек и компонентов, находящихся в открытом доступе.