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

Энергетический институт
Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электрических сетей и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Идентификация параметров схемы замещения линии электропередачи по результатам измерения местных скалярных параметров

УДК 621.315.1:519.233

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3Г	Кулешов Алексей Юрьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Хрущёв Ю. В.	Д. т. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Потехина Н. В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Извеков В. Н.	К. т. н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
ЭСиЭ	Прохоров А. В.	К. т. н.		

Томск – 2017 г.

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

Энергетический институт
Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электрических сетей и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ЭСиЭ
_____ _____ А. В. Прохоров
(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	**ФИО**
5А3Г	Кулешову Алексею Юрьевичу

Тема работы:

Идентификация параметров схемы замещения линии электропередачи по результатам измерения местных скалярных параметров	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 03.02.2017 № 627/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе *(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*	Справочные и статистические данные.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов *(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки и техники в*	1. Постановка задачи; 2. Оценка состояния проблемы определения параметров схемы замещения воздушной линии электропередачи; 3. Методика идентификации параметров ВЛ на базе местных скалярных параметров режима;

рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	4. Тестирование способа нахождения параметров ВЛ по результатам измерения местных скалярных параметров режима; 5. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; 6. Раздел «Социальная ответственность».
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей)*	Схемы замещения воздушной линии электропередачи.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Старший преподаватель кафедры менеджмента – Потехина Нина Васильевна
«Социальная ответственность»	Доцент кафедры ЭБЖ – Извеков Владимир Николаевич

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.02.2017

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Хрущёв Ю. В.	Д. т. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3Г	Кулешов Алексей Юрьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А3Г	Кулешову Алексею Юрьевичу

Институт	ЭНИН	**Кафедра**	ЭСиЭ
Уровень образования	Бакалавриат	**Направление/специальность**	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*	*Оклад руководителя – 36800 руб.* *Оклад инженера – 17000 руб.*
2. *Нормы и нормативы расходования ресурсов*	*Премиальный коэффициент – 30 %;* *Коэффициент доплаты и надбавки – 30 %;* *Дополнительная заработная плата – 15 %;* *Накладные расходы – 16 %;* *Районный коэффициент – 30 %;* *Норма амортизации за год – 33,33 %.*
3. *Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*	*Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды – 27,1 %.*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения*	*Анализ конкурентных технических решений*
2. *Планирование и формирование бюджета научных исследований*	*Формирование плана и графика разработки:* *- определение структуры работ;* *- определение трудоемкости работ;* *- разработка графика Ганта.* *Формирование бюджета затрат на научное исследование:* *- материальные затраты;* *- амортизация;* *- заработная плата (основная и дополнительная);* *- отчисления на социальные цели;* *- накладные расходы.*
3. *Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования*	
Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей):*	
1. *Оценка конкурентоспособности технических решений* 2. *Календарный план-график проведения НИ* 3. *Бюджет затрат НИ*	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Потехина Н. В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3Г	Кулешов Алексей Юрьевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А3Г	Кулешову Алексею Юрьевичу

Институт	ЭНИН	**Кафедра**	ЭСиЭ
Уровень образования	Бакалавриат	**Направление/специальность**	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
4. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	*Исследование алгоритма идентификации параметров ВЛ по результатам измерения местных скалярных параметров*
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
4. Производственная безопасность *1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:* – *физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;* – *действие фактора на организм человека;* – *приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);* – *предлагаемые средства защиты;* – *(сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).* *1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:* – *механические опасности (источники, средства защиты;* – *термические опасности (источники, средства защиты);* – *электробезопасность (в т. ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);* – *пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).*	– *метеопараметры;* – *напряженность зрения;* – *напряженность труда;* – *освещенность;* – *электромагнитные излучения;* – *шум;* – *электрический ток;* – *пожароопасность.* *Разработка организационных и технических мероприятий по нормализации уровней вредных и опасных факторов и защите от их действия.*
5. Экологическая безопасность: – *защита селитебной зоны;* – *анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);* – *анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);* – *анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);* – *разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.*	– *анализ влияния объекта и процесса исследования на окружающую среду;* – *разработка организационных и технических мероприятий по защите окружающей среды.*
6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – *перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;* – *выбор наиболее типичной ЧС;* – *разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;* – *разработка действий в результате возник-*	*Выбор и описание возможных ЧС;* *типичная ЧС – пожар.* – *обоснование мероприятий по предотвращению ЧС;* – *разработка порядка действий в результате возникновения ЧС.*

шей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	
7. *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.*	– *специальные правовые нормы трудового законодательства;* – *организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Извеков В. Н.	К. т. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А3Г	Кулешов Алексей Юрьевич		

Реферат

В настоящее время практические задачи проектирования и анализа электроэнергетических систем, в большинстве случаев, решаются при помощи схем замещения. Зачастую, значительное количество элементов ЭЭС описывается идеализированными моделями с сосредоточенными параметрами. В данных моделях не учитываются взаимовлияние отдельных элементов друг на друга, результаты температурных, механических и химических воздействий окружающей среды, неточности производства оборудования и его монтажа и т. д. Не представляется возможным учесть перечисленные факторы при выполнении расчётов электрических режимов на базе нынешних моделей объектов электроэнергетики [1].

Всё вышесказанное подтверждает необходимость развития мероприятий по идентификации, проверке и корректированию параметров эквивалентных схем замещения элементов. В связи с этим в данной работе рассматривается метод уточнения параметров воздушной линии (ВЛ) электропередачи, использующий в качестве исходных данных местные скалярные параметры режима. Также изучается влияние погодных условий на параметры ВЛ и влияние погрешности измерительных трансформаторов на результаты расчёта этим алгоритмом.

Оглавление

Введение 11

РАЗДЕЛ 1. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ (ВЛ) ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 14

1.1. Параметры и схемы замещения ВЛ 14

1.2. Способы идентификации параметров схемы замещения ВЛ 19

1.2.1. Существующие алгоритмы 19

1.2.2. Концепция методики определения параметров схемы замещения ВЛ на основе местных скалярных параметров режима 23

1.3. Основные факторы, влияющие на неточность измерений искомых параметров 24

1.3.1. Влияние погрешности первичных измерений 25

1.3.2. Погрешность неточности синхронизации измерений 27

1.4. Выводы по разделу 27

РАЗДЕЛ 2. МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВЛ НА БАЗЕ МЕСТНЫХ СКАЛЯРНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА 29

2.1. Математическое описание алгоритма 29

2.2. Выбор второго установившегося режима 33

2.3. Выводы по разделу 50

РАЗДЕЛ 3. ТЕСТИРОВАНИЕ СПОСОБА НАХОЖДЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЛ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ МЕСТНЫХ СКАЛЯРНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА 52

3.1. Оценка влияния измерительных трансформаторов на погрешности расчёта параметров СЗ ВЛ 52

3.2. Выводы по разделу 57

РАЗДЕЛ 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ 59
4.1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НТИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения ... 59
4.1.1. Анализ конкурентных технических решений 59
4.2. Планирование научного исследования 61
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования 62
4.2.2. Определение трудоёмкости выполнения работ 63
4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования 64
4.3. Бюджет научного исследования 67
4.3.1. Расчёт материальных затрат НИ..... 67
4.3.2. Амортизационные отчисления 68
4.3.3. Основная заработная плата исполнителей НИ 68
4.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей НИ..... 70
4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) 71
4.3.6. Накладные расходы..... 71
4.3.7. Формирование бюджета затрат НИ..... 72
4.4. Выводы по разделу..... 72
РАЗДЕЛ 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ..... 74
5.1. Профессиональная социальная безопасность 75
5.1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований 75
5.1.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов..... 77
5.1.2.1. Требования к помещениям для работы с ПЭВМ 77

5.1.2.2. Микроклимат 77
5.1.2.3. Освещение 79
5.1.2.4. Шум 83
5.1.2.5. Электромагнитные излучения (ЭМИ) 83
5.1.2.6. Психофизиологические факторы 85
5.1.2.7. Электрический ток 85
5.2. Экологическая безопасность 86
5.2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду 86
5.2.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду 87
5.2.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды 88
5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях 88
5.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект 88
исследований 88
5.3.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований 89
5.3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка 90
порядка действия в случае возникновения ЧС 90
5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности 92
5.4.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства 92
5.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 92
5.5. Выводы по разделу 96
Заключение 98
Список литературы 100

Введение

В настоящее время достаточно значимым представляется вопрос о необходимости точного определения параметров режима работы и схем замещения отдельных компонентов электроэнергетических систем (ЭЭС).

Для того чтобы повысить точность анализа и расчёта режима и параметров элементов ЭЭС, нужно иметь актуальные данные о проверяемых объектах, а именно: параметрах электрического режима и схемах замещения. В практической деятельности зачастую проводятся измерения таких параметров режима, как напряжения, токи, генерируемые и потребляемые активные и реактивные мощности. Схемные параметры объектов энергосистем чаще всего находятся в справочной литературе, паспорте конкретного оборудования либо проектной документации. Рассматривая в данной работе вопросы, касающиеся ВЛ, мы будем ссылаться на их данные, взятые из справочников, и конструктивные характеристики. Известно, что имеющаяся информация о параметрах режима по объекту контроля в недостаточной мере отражает его действительное состояние. В то же время необходимо сказать, что значения параметров схемы замещения ВЛ в течение всего периода эксплуатации принимают существенные изменения и значительно зависят от ряда факторов.

Достоверная информация о состоянии контролируемого элемента ЭЭС обладает существенной важностью при наиболее эффективном использовании ресурсов, к которому можно отнести пропускную способность электрической сети. Решение задачи оценивания текущего состояния режима энергосистемы предоставляет оперативному персоналу различных организационных структур, а также системам автоматики, подробной и согласованной информации об электрическом режиме [2].

Способы оценивания состояния, которые используются в существующих методиках, допускают неизменность параметров схемы замещения и нормальный симметричный режим. Вместе с тем, данные параметры схемы замещения, в большинстве случаев, вычисляются только на основе конструктивных и паспортных характеристик и не претерпевают изменений в процес-

се эксплуатации ВЛ. Основываясь на работе, нужно сказать, что в данном вопросе оказывают влияние метеорологические, режимные и прочие факторы. Неучёт этих аспектов может привести к погрешностям расчёта параметров схемы замещения в следующих соотношениях: активное сопротивление – до 25 %, индуктивное сопротивление – до 10 %, ёмкость проводимость на землю – до 30 %. В публикациях как российских, так и иностранных учёных эти величины приобретают схожие значения. Поэтому становится всё более актуальной идентификация параметров схемы замещения ВЛ в необходимый момент времени, которая даёт оценку текущего состояния оборудования.

Популярным решением данного вопроса является использование векторных измерений [9]. Потенциальным подходом в данном случае может быть расчёт многополюсников на базе измеренных векторов напряжений и токов по всем в одно и то же время. Возможно использование так называемых массивов мгновенных значений напряжений и токов. Такие данные могут быть получены с помощью регистрирующих устройств, синхронизированных по времени (устройства РАС), для этого их устанавливают по обе стороны от ВЛ.

Нужно сказать, что устройства векторных измерений, в свою очередь, имеют следующие преимущества:

- высокоточная синхронизация измерений;
- оперативность, т. е. данные, необходимые для расчётов, предоставляются с заданной регулярностью.

Стандартные способы определения состояния элементов ЭЭС могут быть дополнены за счёт регулярной дополнительной оценки параметров схемы замещения с помощью векторных измерений. Частота обновления информации об этих параметрах находится, исходя из практических задач.

Широкое применение устройств синхронизированных векторных измерений (PMU – Phasor Measurement Units) подразумевает использование спутниковых систем связи (синхронизации измерений) либо других каналов

связи: высокочастотных, оптоволоконных и т. д.. Оснащение энергосистем таким оборудованием находится только в начальном этапе развития в России. Планируется введение в работу таких устройств на крупных электростанциях и подстанциях (ПС). Ввиду огромного количества ВЛ и (ПС) напряжением 110-220 кВ, расположенных на территории нашей страны, и значительных материальных затрат, перспективность снабжения всех этих линий сложно предположить. К примеру, измерительный преобразователь с поддержкой PMU ЭНИП-2 стоит 50000 рублей [3]. Ещё одним недостатком устройств векторных измерений является сложность их обслуживания, для чего необходим высококвалифицированный персонал. Стоит отметить, что в процессе эксплуатации устройств PMU не исключается возможность их отказа, поэтому должна предусматриваться дополнительная и в то же время резервирующая система измерений. Помимо этого в списках приоритетных работ, составляемых некоторыми сетевыми компаниями, к примеру ФСК ЕЭС, значится задача разработки алгоритма уточнения параметров схемы замещения при отсутствии устройств PMU [4]. В соответствии с вышесказанным целью выпускной квалификационной работы является исследование алгоритма параметров схемы замещения ВЛ без использования векторных измерений, т. е. на основе местных скалярных параметров режима.

РАЗДЕЛ 1. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ (ВЛ) ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

На практике выделяют два вида контроля состояния оборудования: тестовое и функциональное. В процессе теста назначается определённый режим работы проверяемого компонента ЭЭС, и исследуются его реакции при различных воздействиях. Функциональный контроль предполагает отслеживание параметров электрооборудования в рабочем режиме.

Актуальность именно функционального контроля описывается тем, что это осуществляется на работающих устройствах в условиях реальных внешних воздействий: тепловых, электромагнитных, механических. Преимущество данного мероприятия в том, что появляется возможность производить постоянный мониторинг за параметрами оборудования, их изменениями. Это важно для прогнозирования, контроля работоспособности электротехнических и электромеханических систем и устройств, а также их систем управления [5].

1.1. Параметры и схемы замещения ВЛ

Воздушная линия электропередачи (ВЛ) – компонент электрической сети, система энергетического оборудования, предназначенная для передачи электроэнергии.

Воздушные линии электропередачи характеризуются спецификой соотношений параметров и несколькими особенностями, обусловленными конструктивным исполнением и режимом работы. В связи с этим они представляют интерес, как объект исследований.

Схема замещения элемента электрической сети это совокупность фазных сопротивлений и проводимостей, которая позволяет с достаточной точностью моделировать этот элемент при расчёте установившихся режимов электрической сети.

Электрические параметры элемента ЭЭС представляют собой значения сопротивлений и проводимостей в его схеме замещения.

В практической деятельности выделяют первичные и вторичные параметры ВЛ. К первой группе относятся активное и реактивное сопротивления, активная и ёмкостная проводимости. Во вторую группу входят волновое сопротивление и коэффициент распространения электромагнитной волны, который не зависит от вида рассматриваемой схемы замещения ВЛ:

$$\dot{Z}_{\text{В}} = \frac{\sqrt{r_0 + jx_0}}{\sqrt{g_0 + jb_0}}, \tag{1.1}$$

где $\dot{Z}_B$ - волновое сопротивление линии;

$$\dot{\gamma}_0 = \sqrt{(r_0 + jx_0)\cdot(g_0 + jb_0)} = \alpha_0 + j\beta_0, \tag{1.2}$$

где $\dot{\gamma}_0$ – коэффициент распространения электромагнитной волны по линии;

α_0 – коэффициент затухания электромагнитной волны;

β_0 – коэффициент сдвига фазы электромагнитной волны;

r_0, x_0, g_0, b_0 - удельные погонные параметры ВЛ: активное и реактивное сопротивления, активная и ёмкостная проводимости. Рассмотрим каждый из параметров ВЛ в отдельности.

Погонное активное сопротивление r_0 – это сопротивление переменному току, определённое с учётом поверхностного эффекта, наличия магнитного потока, потерь в стальном сердечнике и скрутки проволоки [6].

$$r_0 = r_{0[\text{Ом}]} \cdot k_{\text{а}}, \tag{1.3}$$

где $k_{\text{а}}$ = 1,02÷1,2 – коэффициент, учитывающий ранее перечисленные факторы;

$r_{0[\text{Ом}]}$ – погонное омическое сопротивление постоянному току.

Основными допущениями при расчёте r_0 являются:

- пренебрегают отличием r_0 от $r_{0[\text{Ом}]}$ при частоте f = 50 Гц;
- не учитывается отличие среднеэксплуатационной температуры провода от 20 °*C*.

Тогда:

$$r_0 = r_{0[\text{Ом}]} = \frac{\rho_{(20°C)} \cdot k_{\text{скр}}}{S}, \qquad (1.4)$$

где $\rho_{(20°C)}$ – удельное электрическое сопротивление проводника при температуре окружающей среды 20 °С ;

$k_{\text{скр}} \approx 1{,}02$ – коэффициент, учитывающий изменение длины провода за-счёт скрутки;

S – площадь поперечного сечения провода (мм^2).

Погонное индуктивное сопротивление x_0 определяется свойствами самоиндукции и взаимоиндукции фаз ВЛ, а также радиусом проводов фаз и среднегеометрическим расстоянием между фазами.

$$x_0 = \frac{\omega \cdot \mu_0 \cdot \left[\ln\left(D_{\text{ср}} / R_{\text{пр}}\right) + \mu/4\right]}{2 \cdot \pi}, \qquad (1.5)$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота переменного тока;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ - магнитная постоянная;

μ – относительная магнитная проницаемость;

$D_{\text{ср}}$ - среднегеометрическое расстояние между проводами фаз;

$R_{\text{пр}}$ - радиус провода. (ссылка на формулу)

При частоте f = 50 Гц и μ = 1 (для цветных металлов) и переходе к десятичному логарифму получим:

$$x_0 = 0{,}1445 \cdot \lg\left(D_{\text{ср}} / R_{\text{пр}}\right) + 0{,}0157. \qquad (1.6)$$

Погонная активная проводимость g_0 обусловлена потерями активной мощности от токов утечки через изоляцию ВЛ и электрической короны на проводах. Существенное влияние здесь оказывают влажность и загрязнённость воздуха. Исходя из состояния погоды, потери на корону и от токов утечки могут меняться в десятки раз [6].

$$g_0 \approx \frac{\Delta P_{\text{кор0}}}{U^2_{\text{ном}}}, \qquad (1.7)$$

где $\Delta P_{\text{кор0}}$ – удельные потери активной мощности на корону (кВт/км);

$U_{ном}$ – номинальное напряжение ВЛ (кВ).

В справочниках даются минимальные, максимальные и среднегодовые значения $\Delta P_{кор0}$.

Погонная ёмкостная проводимость b_0 характеризуется ёмкостными проводимостями (ёмкостями) между фазными проводами, грозозащитными тросами и заземлёнными частями опоры, проводами и землёй. Для ВЛ этот параметр определяется также конструктивными особенностями, и рассчитывается по выражению:

$$b_0 = \frac{\omega \cdot 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0}{\ln\left(D_{ср} / R_{пр}\right)}, \tag{1.7}$$

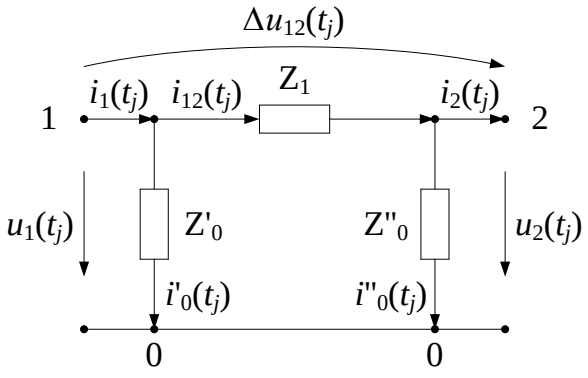
где $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная;

ε – диэлектрическая проницаемость среды. [6]

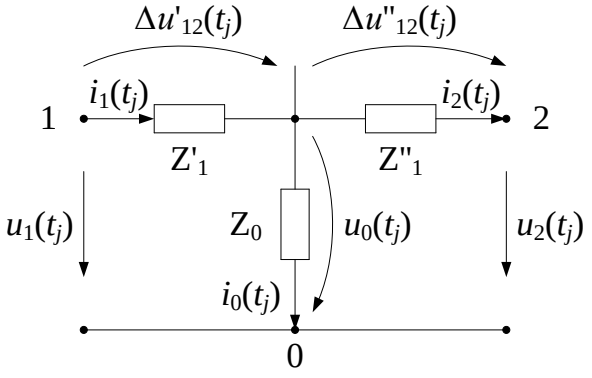
При частоте f = 50 Гц и $\varepsilon \approx 1$ (для воздуха) и переходе к десятичному логарифму, получим:

$$b_0 = \frac{7{,}58 \cdot 10^{-6}}{\lg\left(D_{ср} / R_{пр}\right)}. \tag{1.8}$$

Существуют различные виды схемы замещения ВЛ, к ним относятся П-образные, Г-образные и Т-образные, которые позволяют учитывать реальные процессы, происходящие при передаче электроэнергии.



а)



б)

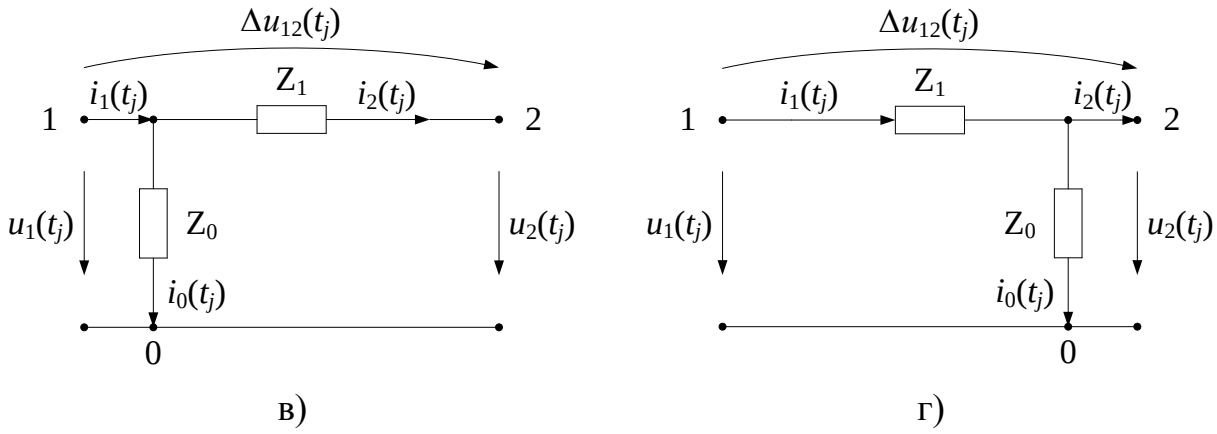


Рисунок 1.1 – Схемы замещения линий электропередачи: а) П-образная; б) Т-образная; в) прямая Г-образная; г) обратная Г-образная

Стоит отметить, что зачастую используются П-образные и Т-образные схемы, т. к. они находят широкое применение при решении практических задач. Схемы замещения Г-образного типа могут использоваться, когда имеется ВЛ протяжённостью порядка 1 км. Тогда несимметрия схемы не скажется должным образом на результатах расчёта ввиду малой протяжённости линии. Несколько таких же малых линий, соединённых между собой последовательно, можно представить в виде цепочечной структуры. Схема замещения такой линии является совокупностью Г-образных схем. При их последовательном соединении можно выделить схемы П-образного и Т-образного типа, которые включают поперечные ветви схем замещения соседних участков [5].

ВЛ напряжением 110 кВ и выше и длиной до 300 км обычно представляются П-образной схемой замещения с сосредоточенными параметрами (рис. 1.2). Необходимо обратить внимание на то, что допускается говорить о сосредоточенных параметрах ВЛ при их длине не более 300 км.

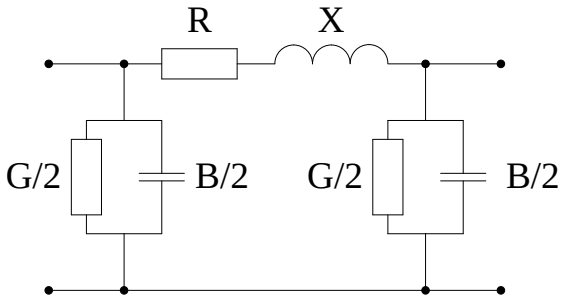


Рисунок 1.2 – П-образная схема замещения ВЛ

При расчёте параметров схемы замещения ВЛ с длиной более 300-350 км и номинальным напряжением $U_{ном} \geq 330$ кВ уже учитывается распределённость сопротивлений и проводимостей вдоль линии.

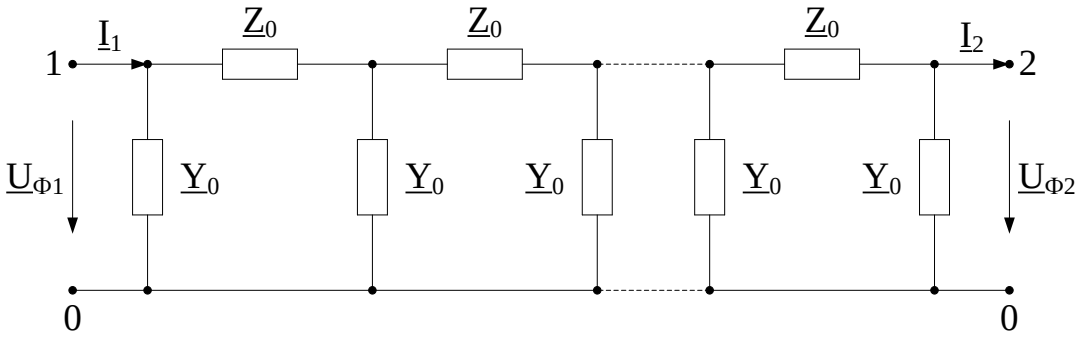


Рисунок 1.3 – Цепочечная схема замещения лини электропередачи с равномерно распределёнными параметрами

В таких случаях всю линию делят на участки протяжённостью 250÷300 км и представляют цепочкой П-образных схем, подключённых последовательно друг другу.

1.2. Способы идентификации параметров схемы замещения ВЛ

1.2.1. Существующие алгоритмы

Большое количество ВЛ имеют длины, значительно меньшие длины электромагнитной волны. Учёт распределённости параметров таких линий затрудняет расчёт электрической сети, при этом точность расчётов повышается несущественно. Поэтому при расчёте ВЛ протяжённостью до 300 км принимают допущение о сосредоточенности её параметров. Таким образом, самый распространённый алгоритм определения параметров будет представлен в следующем виде:

- определить по справочным данным погонные параметры ВЛ: r_0, x_0, g_0, b_0;
- используя формулы, определить параметры всей линии:

$$R = \frac{r_0 \cdot L}{n};\ X = \frac{x_0 \cdot L}{n};\ G = g_0 \cdot L \cdot n;\ B = b_0 \cdot L \cdot n, \qquad (1.9)$$

где n – количество цепей ВЛ;

L – длина линии.

В настоящее время осуществляются разработка, усовершенствование и внедрение устройств, основанных на алгоритме расчёта параметров разнообразных компонентов энергосистем, которые базируются на данных, получаемых от регистраторов аварийных процессов (РАП). Данные приборы измеряют токи и напряжения огромное количество раз за период изменения переменного напряжения и представляют результат в виде массивов мгновенных значений (ММЗ).

Метод, созданный исследователями НИ ТПУ, опирается на замещении ВЛ одним из типов схем: П-образной, Т-образной, прямой или обратной Г-образной (рис.1.1).

Сущность данной разработки состоит в том, что установленные в начале и конце ВЛ устройства РАП собирают синхронизированные по времени ММЗ напряжений и токов $u\left(t_j\right)\Big|_{j=1}^{N}$, $i\left(t_j\right)\Big|_{j=1}^{N}$, которые зарегистрированы в разные моменты времени $t_j = t_1, t_2,...t_N$. При этом промежуток времени Δt между измерениями, называемый шагом дискретизации, определяется как: $\Delta t = T/N$. В этом выражении T – это период изменения переменного напряжения и тока, N – число отсчётов на периоде. Затем с конца ВЛ массив данных отправляется в начало через высокочастотный либо оптоволоконный канал связи (рис. 1.4) [7].

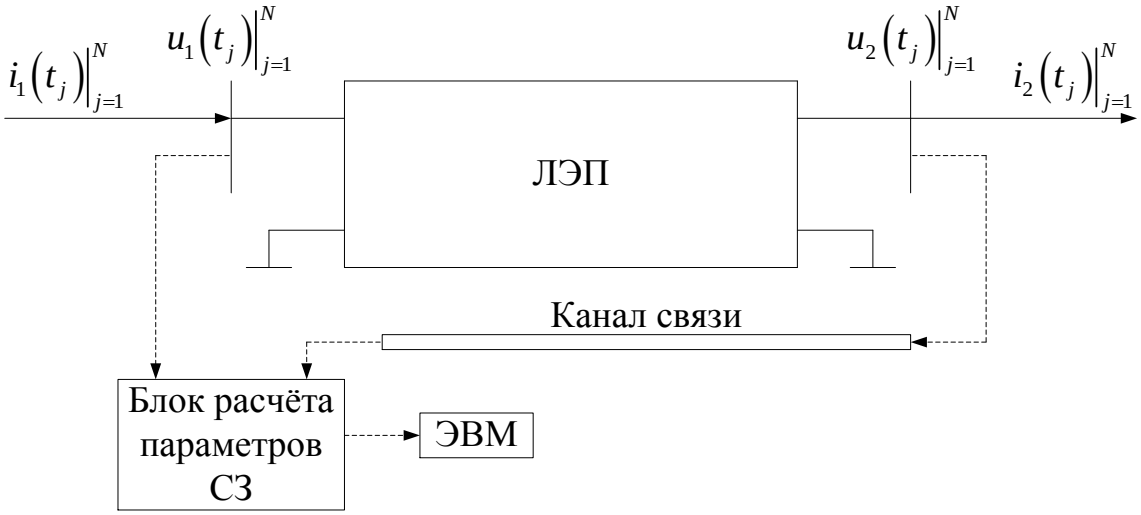


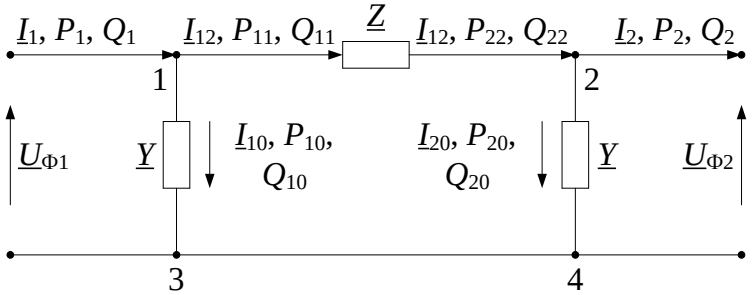
Рисунок 1.4 – Схема передачи данных от ВЛ

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:

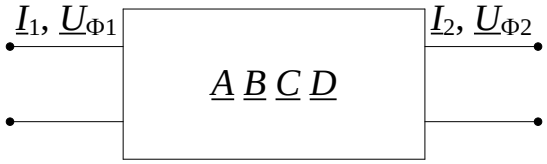
$$R = \frac{P}{I^2};\ X = \frac{Q}{I^2}. \tag{1.10}$$

Кроме того, существует другой способ определения параметров ВЛ, использующий данные PMU. Метод основан на двух вариациях: а) замещение линии П-образной схемой; б) применение уравнений четырёхполюсника (рис. 1.5, а, б):

$$\begin{aligned} \underline{U}_{\Phi 1} &= A \cdot \underline{U}_{\Phi 1} + B \cdot \underline{I}_2; \\ \underline{I}_1 &= C \cdot \underline{U}_{\Phi 2} + B \cdot \underline{I}_2. \end{aligned} \tag{1.11}$$



а)



б)

Рисунок 1.5 – Схемы замещения ВЛ

Основываясь на работе [7], можно сказать, что реальные параметры воздушной линии могут быть получены по данным устройств векторных измерений при помощи выражений:

$$\underline{Y} = \frac{\underline{I}_1 - \underline{I}_2}{\underline{U}_{Ф1} + \underline{U}_{Ф2}};\ \underline{Z} = \frac{\underline{U}_{Ф1} - \underline{U}_{Ф2}}{\underline{I}_1 - \underline{Y} \cdot \underline{U}_{Ф1}}. \qquad (1.12)$$

Итак, в настоящее время сохраняется тенденция по созданию методов вычисления параметров ВЛ. Приведённые ранее алгоритмы основаны на данных, получаемых посредством РАП. Это даёт возможность высказать предположение о высокой точности этих методов, т. к. массивы мгновенных значений напряжений и токов содержат достоверную информацию о процессах, протекающих в электрооборудовании энергосистем. Стоит отметить, что суть перечисленных алгоритмов заключается в расчёте параметров схемы замещения всей ВЛ, тогда как во многих прикладных задачах используются именно погонные параметры.

В целях разработки алгоритмов подобного рода учёными НИ ТПУ была проведена работа, результаты которой возможно применить для модернизации методик определения места повреждения (ОМП). В роли исходной информации здесь используются ММЗ фазных напряжений и токов в начале и конце ВЛ $i_1(t_j)$, $u_{Ф1}(t_j)$, $i_2(t_j)$, $u_{Ф2}(t_j)$, которые передаются устройствами РАП в доаварийном режиме. Распределённость удельных параметров линии учитывается путём использования симметричной П-образной схемой замещения и симметричным пассивным четырёполюсником (рис. 1.5, а, б).

Пассивный четырёхполюсник представляется обобщёнными коэффициентами $\underline{A}$, $\underline{B}$, $\underline{C}$, $\underline{D}$, определяющиеся с помощью погонных параметров ВЛ.

При протяжённости линии l эти коэффициенты задаются гиперболическими функциями:

$$\underline{A} = \underline{D} = ch\left(\underline{\gamma}_0 \cdot l\right);\ \underline{B} = \underline{Z}_{\text{В}} \cdot sh\left(\underline{\gamma}_0 \cdot l\right);\ \underline{C} = \frac{1}{\underline{Z}_{\text{В}}} \cdot sh\left(\underline{\gamma}_0 \cdot l\right), \tag{1.13}$$

где $\underline{Z}_{\text{В}}$ – волновое сопротивление линии;

$\underline{\gamma}_0$ – коэффициент распространения электромагнитной волны по линии.

Общий вид алгоритма выглядит следующим образом. На первом этапе находят коэффициенты четырёхполюсника, после этого рассчитывают волновые параметры, преобразуя формулы, приведённые выше:

$$\underline{Z}_{\text{В}} = \sqrt{\underline{B}/\underline{C}}\ ;\ \underline{\gamma}_0 = \frac{arch\left(\underline{A}\right)}{l}. \tag{1.14}$$

Затем, используя эти значения, вычисляют удельные параметры схемы замещения ВЛ:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_0 &= r_0 + jx_0 = \underline{\gamma}_0 \cdot \underline{Z}_{\text{В}}; \\ \underline{Y}_0 &= g_0 + jb_0 = \underline{\gamma}_0 / \underline{Z}_{\text{В}}. \end{aligned} \tag{1.15}$$

В зависимости от того, как определяют коэффициенты четырёхполюсника, данный алгоритм подразделяется на две разновидности: 1) когда величины $\underline{A}$, $\underline{B}$, $\underline{C}$, $\underline{D}$ находят через уравнения четырёхполюсника; 2) через П-образную схему замещения [7].

1.2.2. Концепция методики определения параметров схемы замещения ВЛ на основе местных скалярных параметров режима

Как уже было сказано ранее, современные алгоритмы определения параметров схемы замещения, базирующиеся на ММЗ токов и напряжений, требуют точной синхронизации данных. Чем эта точность выше, тем достовернее информация о состоянии объектов ЭЭС, в частности ВЛ. Синхронизация измерений может осуществляться несколькими путями: через высокочастотные каналы связи (КС), оптоволоконные КС, системы глобального позиционирования GPS/ГЛОНАСС/Galileo. Практика показывает, что по ряду

причин спутниковые системы опережают своих конкурентов при достижении целей высокоточной синхронизации показаний измерительных устройств. Последние были названы PMU или устройствами синхронизированных векторных измерений. Для них требуются высококачественные спутниковые системы. Широко известно, что работы по снабжению энергосистем России находятся на первом этапе развития. Планируется внедрение таких аппаратов на крупных ПС и электростанциях. Пока же перспективность оборудования всего большого количества ВЛ 110-220 кВ невысока. Это обусловлено временными, материальными затратами, организационными моментами. К тому же такие устройства сложны в эксплуатации, поэтому здесь необходимы высококвалифицированные кадры для работы с ними, что означает поиск таких работников или обучение менее грамотных инженеров. Одним из возможных решений этих проблем может стать разработка алгоритма, точность которого менее чувствительна к синхронизации измерений. Таким вариантом представляется метод идентификации погонных параметров ВЛ, в котором используются только местные скалярные параметры режима. В то же время этот способ может заменить PMU при его отказе. В таком раскладе тогда потребуется резервная измерительная система, в роли которой как раз может выступить предложенная выше идея. Дальнейшее исследование этого вопроса является целью ВКР, и предложено во втором и третьем разделе.

1.3. Основные факторы, влияющие на неточность измерений искомых параметров

Параметры схемы замещения каждого элемента при этом обычно определяются по справочным или паспортным данным и считаются постоянными, хотя зависят от загрузки элементов, погодных условий и многих иных факторов. Погрешности определения параметров схемы замещения на основе справочных данных весьма значительны.

При использовании справочных данных в расчетах места повреждения не учитываются также последствия эксплуатации линий (например, термические воздействия; наличие врезок из проводов других марок и т.п.).

Наличие более точных параметров линий увеличит точность любых расчетов, где используются эти параметры (в том числе и в задаче ОМП). Следует отметить, что коррекцию параметров схемы замещения ЛЭП, связанную с изменениями погодных условий и электрической нагрузки, достаточно выполнять лишь несколько раз в сутки.

Таблица 1.1 – Погрешности расчёта параметров схемы замещения [7]

Параметр	Причины возникновения погрешности	Диапазон погрешности	Влияние режима
Активное сопротивление *R*	Неучёт поверхностного эффекта, влияния погодных условий	-24…+8%	Сильное
Реактивное сопротивление *X*	Неточность задания эквивалентных геометрических параметров. Многократно заземленные тросы и параллельные цепи	-10…+8%	Слабое
Активная проводимость *G*	Конструктивные, режимные и метеорологические условия	В 1,5…3 раза	Очень сильное
Реактивная проводимость *B*	Неучёт изменения стрелы провеса, наличия заземленного троса, параллельных цепей, проводимости грунта и влажности воздуха	25…30%	Сильное

1.3.1. Влияние погрешности первичных измерений

В настоящее время активно развивается оборудование, позволяющее получать более точные измерения электрических величин.

Для повышения точности получаемых измерений местных параметров ключевыми являются измерительные трансформаторы тока и напряжения нового поколения (цифровые оптические). Их основные преимущества по сравнению с традиционными измерительными трансформаторами:

- волоконно-оптические датчики позволяют измерять как переменный, так и постоянный ток в широком диапазоне нагрузок и частот;
- волоконно-оптический трансформатор тока (ВОТТ) имеет аналоговый и цифровой выходы, а поэтому совместим как с существующими вторичными цепями, так и с перспективными информационными системами на базе протокола 61850-9-2;
- высокая точность контроля и учета электроэнергии (превосходит класс точности 0,2S и 0,2);
- высокая пожаровзрывобезопасность и экологичность, так как не содержит масел, бумаги, горючих полимеров и элегаза в высоковольтной изоляции;
- исключение проблем феррорезонанса и опасности размыкания вторичных токовых цепей;
- сохранение точности при внешних климатических воздействиях.

Влияние новых технологий на повышение точности измерения местных параметров может быть проиллюстрировано с помощью схемы формирования результирующей погрешности измерительного комплекса и непосредственно значением этой погрешности, которые представлены на рисунке 3.2.

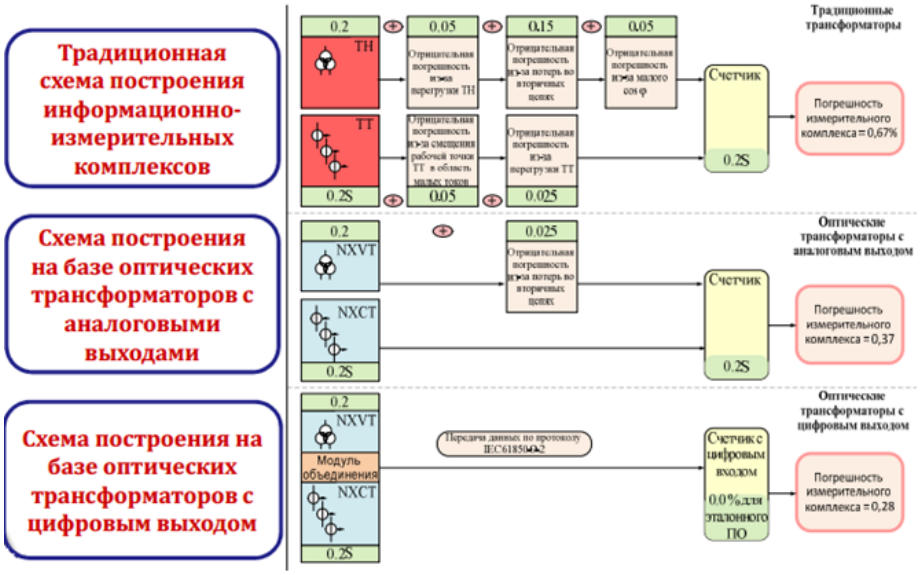


Рисунок 1.6 – Схема построения суммарной погрешности измерительных комплексов

Из приведенной схемы видно, что применение цифровых измерительных оптических трансформаторов позволяет уменьшить значение погрешности получаемых измерений практически в 2 раза, что является значимым в задаче идентификации параметров схемы замещения и дальнейших расчетов, основанных на использовании этих параметров [8].

1.3.2. Погрешность неточности синхронизации измерений

Основываясь на работе, можно сказать, что существующие методы уточнения параметров ВЛ, базирующиеся на векторных измерениях, крайне чувствительны к углу сдвига измеряемых сигналов, который обусловлен погрешностями синхронизации измерений. При отсутствии синхронизации по современным протоколам данные методы мало пригодны для решения задачи определения параметров схемы замещения. Синхронизация измерений может осуществляться несколькими путями: через высокочастотные каналы связи (КС), оптоволоконные КС, системы глобального позиционирования GPS/ГЛОНАСС/Galileo [5]. Практика показывает, что по ряду причин спутниковые системы опережают своих конкурентов при достижении целей высокоточной синхронизации показаний измерительных устройств.

1.4. Выводы по разделу

Таким образом, в рамках данного раздела рассматривались задачи уточнения параметров схемы замещения ВЛ, существующие алгоритмы по их определению, описаны основные виды погрешностей, влияющих на расчёт параметров, предложена концепция новой методики идентификации параметров СЗ.

По результатам выполнения первого раздела можно сформулировать следующие выводы:

1) Перспективным и актуальным является определение параметров ВЛ в режиме реального времени, т. е. в любой момент времени по мере необходимости. Это объясняется тем, что высокая точность параметров схемы замеще-

ния пригодится для расчётов режимов ЭЭС. Чем точнее схема замещения, тем точнее пределы по перегрузочной способности. Если имеется точная информация о пределах по статической устойчивости, перегрузочной способности, то, к примеру, есть возможность снижать запасы. В нормальном режиме коэффициент запаса статической апериодической устойчивости должен быть не менее 20 %, что является достаточно большим значением. К тому же эта величина в 20 % вычисляется из тех соображений, что мы не можем точно определить пределы, т. к. схема замещения недостаточно точная. В настоящее время уделяется большое внимание этому вопросу. Это входит в общую задачу повышения точности расчётных моделей.

2) Для уточнения параметров схемы замещения ВЛ могут применяться устройства синхронизированных векторных измерений. При выполнении расчётов требуется точная синхронизация этих значений. Это обеспечивается тремя способами: спутниковые системы, высокочастотные и оптоволоконные каналы связи. Наиболее точные результаты дают спутники. Но это требуют существенных материальных затрат, времени для оснащения таким оборудованием. Устройства, которые позволяют произвести данные измерения, называются PMU. Для оснащения ими также нужны денежные средства, а также грамотный персонал для обслуживания. Вдобавок не исключена возможность отказа этих устройств.

3) В свете данных факторов представляется весьма перспективной разработка алгоритма идентификации параметров ВЛ, который не будет иметь основных недостатков существующих устройств, а именно связанных с синхронизацией показаний измерительных приборов и использованием спутниковых систем. Поэтому целью этой работы ставится исследование алгоритма, базирующегося на измерении местных скалярных параметров режима.

РАЗДЕЛ 2. МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВЛ НА БАЗЕ МЕСТНЫХ СКАЛЯРНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА

По результатам выполнения первого раздела ясно, что при отсутствии современных технических средств высокоточной синхронизации фиксирующих приборов по концам линии не представляется возможным достоверно решить задачу определения параметров ВЛ. В связи с этим сегодня требуют внимания разработки других алгоритмов, менее чувствительных к синхронизированным измерениям. Наличие более точных параметров схемы замещения линий увеличит точность любых расчётов, где они используются (в том числе и в задаче ОМП). Исходя из этого, второй раздел посвящён исследованию способа уточнения параметров ВЛ на основе местных параметров ВЛ.

2.1. Математическое описание алгоритма

В роли исходных данных в исследуемом алгоритме выступают нижеперечисленные скалярные параметры режима:

- P_1, Q_1, P_2, Q_2 – фазные значения активной и реактивной мощностей по концам линии;
- $U_{Ф1}$, $U_{Ф2}$ – действующие значения фазных напряжений по обоим концам линии.

Модель ВЛ, используемая для исследования методики, изображена на рисунке 2.1.

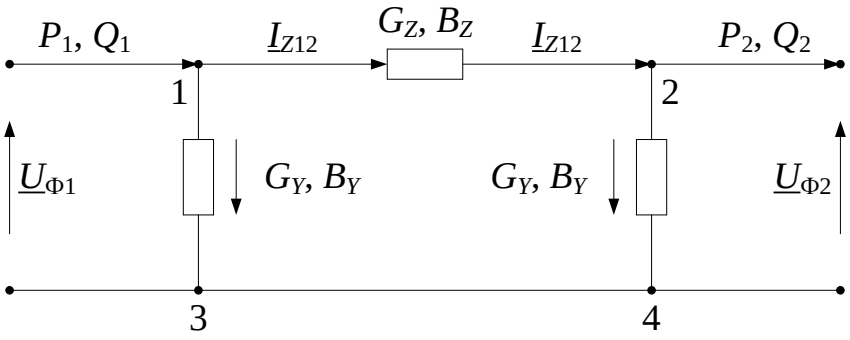


Рисунок 2.1 – Схема замещения ВЛ

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

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

$$\varphi_{P_1} = -P_1 + U_{Ф1}^2 \cdot y_{11} \cdot \cos(\psi_{11}) - U_{Ф1} \cdot U_{Ф2} \cdot y_{12} \cdot \cos(\delta + \psi_{12}); \quad (2.1)$$

$$\varphi_{Q_1} = -Q_1 + U_{Ф1}^2 \cdot y_{11} \cdot \sin(\psi_{11}) - U_{Ф1} \cdot U_{Ф2} \cdot y_{12} \cdot \sin(\delta + \psi_{12}); \quad (2.2)$$

$$\varphi_{P_2} = -P_2 - U_{Ф2}^2 \cdot y_{22} \cdot \cos(\psi_{22}) + U_{Ф1} \cdot U_{Ф2} \cdot y_{12} \cdot \cos(-\delta + \psi_{12}); \quad (2.3)$$

$$\varphi_{Q_2} = -Q_2 - U_{Ф2}^2 \cdot y_{22} \cdot \sin(\psi_{22}) + U_{Ф1} \cdot U_{Ф2} \cdot y_{12} \cdot \sin(-\delta + \psi_{12}), \quad (2.4)$$

где φ_{P_1}, φ_{Q_1}, φ_{P_2}, φ_{Q_2} – небалансы мощностей, минимизируемые во время итерационного процесса;

y_{11}, y_{22}, y_{12}, ψ_{11}, ψ_{22}, ψ_{12} – модули и углы собственных и взаимных проводимостей соответственно.

Искомые параметры схемы замещения содержатся в неявном виде в уравнениях (2.1-2.4). Связь между искомыми параметрами и обобщёнными определяется по следующим соотношениям:

$$y_{11} \cdot \cos(\psi_{11}) = y_{22} \cdot \cos(\psi_{22}) = G_Z + G_Y; \quad (2.5)$$

$$y_{11} \cdot \sin(\psi_{11}) = y_{22} \cdot \sin(\psi_{22}) = B_Z + B_Y; \quad (2.6)$$

$$y_{12} \cdot \cos(\psi_{12}) = G_Z; \quad (2.7)$$

$$y_{12} \cdot \sin(\psi_{12}) = B_Z. \quad (2.8)$$

С помощью этих выражений (2.5-2.8) можно привести уравнения (2.1-2.4) к удобному для расчёта виду. Для этого необходимо разложить тригонометрические функции на составляющие части. Следуя тригонометрическим формулам сложения и вычитания, преобразуем правую часть уравнений (2.1-2.4):

$$\cos(\delta + \psi_{12}) = \cos(\delta) \cdot \cos(\psi_{12}) - \sin(\delta) \cdot \sin(\psi_{12}); \quad (2.9)$$

$$\sin(\delta + \psi_{12}) = \cos(\delta) \cdot \sin(\psi_{12}) + \sin(\delta) \cdot \cos(\psi_{12}); \quad (2.10)$$

$$\cos\left(-\delta+\psi_{12}\right)=\cos\left(\delta\right)\cdot\cos\left(\psi_{12}\right)+\sin\left(\delta\right)\cdot\sin\left(\psi_{12}\right); \quad (2.11)$$

$$\sin\left(-\delta+\psi_{12}\right)=\cos\left(\delta\right)\cdot\sin\left(\psi_{12}\right)-\sin\left(\delta\right)\cdot\cos\left(\psi_{12}\right). \quad (2.12)$$

Учитывая соотношения (2.5-2.8) и использование формул тригонометрии, перепишем уравнения (2.1-2.4) в форме, в которой искомые параметры представлены в явном виде:

$$\varphi_{P_1}=-P_1+U_{\Phi1}^2\cdot\left(G_Z+G_Y\right)-U_{\Phi1}\cdot U_{\Phi2}\cdot\left(G_Z\cdot\cos\left(\delta\right)-B_Z\cdot\sin\left(\delta\right)\right); \quad (4.13)$$

$$\varphi_{Q_1}=-Q_1+U_{\Phi1}^2\cdot\left(B_Z+B_Y\right)-U_{\Phi1}\cdot U_{\Phi2}\cdot\left(B_Z\cdot\cos\left(\delta\right)+G_Z\cdot\sin\left(\delta\right)\right); \quad (4.14)$$

$$\varphi_{P_2}=-P_2-U_{\Phi2}^2\cdot\left(G_Z+G_Y\right)+U_{\Phi1}\cdot U_{\Phi2}\cdot\left(G_Z\cdot\cos\left(\delta\right)+B_Z\cdot\sin\left(\delta\right)\right); \quad (4.15)$$

$$\varphi_{Q_2}=-Q_2-U_{\Phi2}^2\cdot\left(B_Z+B_Y\right)+U_{\Phi1}\cdot U_{\Phi2}\cdot\left(B_Z\cdot\cos\left(\delta\right)-G_Z\cdot\sin\left(\delta\right)\right). \quad (4.16)$$

Кроме искомых параметров схемы замещения в уравнениях (2.13-2.16) 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 $\underline{I}_{Z12}$ по параметрам линии:

$$I_{Z12}^2=\frac{1}{U_{\Phi1}^2}\cdot\left(\left(P_1-U_{\Phi1}^2\cdot G_Y\right)^2+\left(Q_1+U_{\Phi1}^2\cdot B_Y\right)^2\right); \quad (2.17)$$

$$I_{Z12}^2=\frac{1}{U_{\Phi2}^2}\cdot\left(\left(P_2+U_{\Phi2}^2\cdot G_Y\right)^2+\left(Q_2-U_{\Phi2}^2\cdot B_Y\right)^2\right). \quad (2.18)$$

Как видно, левые части уравнений (2.17) и (2.18) одинаковы, поэтому приравниваем правые части и получаем пятое уравнение в виде небаланса квадратов тока:

$$\begin{aligned}\varphi_I=&\frac{1}{U_{\Phi1}^2}\cdot\left(\left(P_1-U_{\Phi1}^2\cdot G_Y\right)^2+\left(Q_1+U_{\Phi1}^2\cdot B_Y\right)^2\right)-\\&-\frac{1}{U_{\Phi2}^2}\cdot\left(\left(P_2+U_{\Phi2}^2\cdot G_Y\right)^2+\left(Q_2-U_{\Phi2}^2\cdot B_Y\right)^2\right).\end{aligned} \quad (2.19)$$

В пределах одного установившегося режима полученные уравнения связывают местные скалярные параметры по концам линии именно этого ре-

жима. Так как в выражениях (2.13-2.16) 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. В этом случае требуется применить параметры другого установившегося режима в пятом уравнении [7].

Исходя из всего вышесказанного, уравнения (2.13-2.16), использующие скалярные параметры первого режима, и уравнение (2.19), использующее скалярные параметры второго режима, представляются замкнутой системой нелинейных уравнений, которую можно решить итерационным методом. В качестве начальных значений искомых параметров ВЛ принимаются справочные данные. Исходная величина угла δ принимается по результатам векторных измерений или рассчитывается с помощью одного из уравнений (2.1-2.4).

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

$$R = \frac{G_Z}{G_Z^2 + B_Z^2};\ X = \frac{B_Z}{G_Z^2 + B_Z^2}; \tag{2.20}$$

поперечной проводимости $\underline{Y}$:

$$G = G_Y;\ B = B_Y. \tag{2.21}$$

Отсюда имеем:

$$\underline{Z} = R + jX;\ \underline{Y} = G + jB. \tag{2.22}$$

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

$$\begin{gathered} \underline{A} = \underline{D} = 1 + \underline{Y} \cdot \underline{Z}; \\ \underline{B} = \underline{Z}; \\ \underline{C} = \underline{Y} \cdot \left(2 + \underline{Y} \cdot \underline{Z}\right). \end{gathered} \tag{2.23}$$

Далее вычисляются волновые параметры ВЛ по выражениям:

$$\underline{Z}_{\text{В}} = \sqrt{\underline{B}/\underline{C}}\,;\ \underline{\gamma}_0 = \frac{arch\left(\underline{A}\right)}{l}. \qquad (2.24)$$

Затем, используя полученные значения, рассчитываем удельные параметры ВЛ:

$$z_0 = r_0 + jx_0 = \underline{\gamma}_0 \cdot \underline{Z}_{\text{В}};$$

$$y_0 = g_0 + jb_0 = \underline{\gamma}_0 / \underline{Z}_{\text{В}}.$$

Таким образом, в данном параграфе определена последовательность действий при идентификации погонных параметров ВЛ с помощью местных скалярных параметров режима. В то же время остаётся открытым вопрос выбора параметров второго установившегося режима, необходимых для решения системы уравнений (2.13-2.16) и (2.19). Рассмотрение этой тематики изложено в следующем параграфе.

2.2. Выбор второго установившегося режима

Установившийся режим энергосистемы – это режим, характеризующийся длительным сохранением значений режимных параметров безаварийно работающих элементов системы. Применительно к таким режимам проектируется электроэнергетическая система, и определяются её технико-экономические характеристики. Нормальному режиму энергосистемы присущи регулярные эксплуатационные манипуляции (операции): отключение и включение элементов системы, изменение мощности генераторов и нагрузок и т. д. Всё это приводит к изменению параметров режима. Также нельзя забывать о том, что в зависимости от времени года (сезона) происходит значительное изменение энергопотребления, что, в свою очередь, влияет на режимные параметры. Их периодическое изменение приводит к изменению характеристик элементов энергосистемы. К тому же, при любом периоде года стоит учитывать воздействие погодных явлений на параметры схем замещения компонентов ЭЭС.

Проанализируем влияние режимных параметров на результаты расчёта исследуемого алгоритма. Для этого при помощи ПК «Mathcad» смоделирован алгоритм, использующий скалярные параметры режима. Исходные данные приняты такими же, как в работе, с целью выяснения правильности работы алгоритма. Данная методика апробирована на примере одноцепной ВЛ с номинальным напряжением 500 кВ, длиной 600 км, выполненной с расщеплением фазы на три провода марки АС 500/64. Принято, что расстояние между центрами расщеплённых фаз по горизонтали D составляет 12 м. Расщеплённые фазные проводники расположены по вершинам равностороннего треугольника со стороной a = 40 см, при этом диаметр провода $d_{\text{пр}}$ равен 30,2 мм. Известно, что переток мощности в конце линии равен $\underline{S}_2$ = 600 + j250 МВА. Удельные параметры провода марки АС 500/64, необходимые для расчёта приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Удельные параметры провода марки АС 500/64

Удельное активное сопротивление провода при t = 20 °C r_0, Ом/км	Удельные потери на корону (среднегодовые) $\Delta p_{\text{к}0}$, МВт/км
0,065	$5{,}5 \cdot 10^{-3}$

В соответствии с работой, определяются исходные параметры ВЛ, которые принимаются в качестве эталонных. Результаты этих расчётов представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Исходные погонные параметры ВЛ

r_0, Ом/км	x_0, Ом/км	g_0, См/км	b_0, См/км
0,022	0,301	$7{,}333 \cdot 10^{-9}$	$3{,}694 \cdot 10^{-6}$

Исходя из этих данных, вычисляются параметры П-образной схемы замещения линии, которые отображены в табл. 2.3.

Таблица 2.3 – Эталонные параметры П-образной схемы замещения ВЛ

Продольное сопротивление ВЛ $\underline{Z}$, Ом	Поперечная проводимость ВЛ $\underline{Y}$, См
$11,295 + j168,747$	$5,244 \cdot 10^{-6} + j1,147 \cdot 10^{-3}$

Затем по соотношениям между параметрами электрического режима ВЛ осуществляется расчёт режима. В качестве известных величин выступают фазное напряжение $U_{Ф2}$ и перетоки активной P_2 и реактивной мощности Q_2 в конце линии. На основе этих данных рассчитываются параметры начала линии. В результате получены параметры режима, необходимые для работы алгоритма, которые приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4 – Параметры установившегося режима

$U_{Ф1}$, кВ	P_1, кВт	Q_1, кВАр	$U_{Ф2}$, кВ	P_2, кВт	Q_2, кВАр
312,37	206,414	-42,465	288,675	200	83,333

Полученные величины приняты в качестве параметров первого установившегося режима. Далее, учитывая соображения, приведённые в п. 2.1., необходимо определить параметры второго установившегося режима. Разница в параметрах обоих режимов может достигаться изменением уровней напряжения и соответствующими изменениями перетоков мощности линии, изменением перетока активной мощности в начале или конце линии и соответствующими изменениями перетоков реактивной мощности при постоянстве уровней напряжения. С целью нахождения параметров второго установившегося режима используется следующая последовательность действий:

- определение перетока активной мощности в конце линии P_{22}. Для этого мы берём данный параметр для первого режима и изменяем его в каком-либо процентном соотношении. Для выполнения расчёта принимаем P_{22} в следующем диапазоне значений: $0,6 \cdot P_2 < P_{22} < 1,4 \cdot P_2$;
- затем, используя уравнение (2.15), вычисляем угол δ между векторами напряжений по концам ВЛ. Модули этих напряжений принимаются таки-

ми же, как и в первом установившемся режиме, и остаются неизменными во всех дальнейших расчётах. Также в этом уравнении присутствуют величины G_Z, B_Z, которые рассчитываются по соотношениям:

$$G_Z = \frac{R}{R^2 + X^2};\ B_Z = \frac{X}{R^2 + X^2}, \qquad (2.24)$$

где R и X – эталонные параметры схемы замещения ВЛ, рассчитанные ранее. Следовательно, в уравнении остаётся одна неизвестная переменная δ, которая находится посредством итерационного процесса;

- зная угол δ и используя уравнения (2.13), (2.14), (2.16), легко определяем остальные параметры второго установившегося режима: перетоки активной мощности P_{21} в начале и реактивной мощности по концам Q_{21}, Q_{22}.

Следуя вышеизложенному порядку действий и алгоритму на базе скалярных параметров режима, определим, как влияет величина отклонений параметров второго режима от параметров первого на результаты расчёта схемы замещения линии. Полученные данные приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Зависимость погрешности расчёта алгоритмом от параметров второго установившегося режима при изменении активной мощности в конце линии

Параметр режима	dR, %	dX, %	dG, %	dB, %	Число итераций
$P_{22} = 0{,}6 \cdot P_2$	$2{,}354 \cdot 10^{-3}$	$-1{,}644 \cdot 10^{-3}$	-0,032	$-5{,}22 \cdot 10^{-4}$	6
$P_{22} = 0{,}7 \cdot P_2$	$3{,}87 \cdot 10^{-3}$	$-2{,}184 \cdot 10^{-3}$	-0,037	$-7{,}483 \cdot 10^{-4}$	18
$P_{22} = 0{,}8 \cdot P_2$	$1{,}496 \cdot 10^{-5}$	$-7{,}897 \cdot 10^{-6}$	$-1{,}275 \cdot 10^{-4}$	$-3{,}028 \cdot 10^{-6}$	13
$P_{22} = 0{,}9 \cdot P_2$	$5{,}154 \cdot 10^{-4}$	$-1{,}703 \cdot 10^{-4}$	$-1{,}737 \cdot 10^{-3}$	$-4{,}952 \cdot 10^{-5}$	27
$P_{22} = 0{,}99 \cdot P_2$	$3{,}32 \cdot 10^{-6}$	$-1{,}228 \cdot 10^{-6}$	$-1{,}409 \cdot 10^{-5}$	$-4{,}549 \cdot 10^{-7}$	18
$P_{22} = 0{,}998 \cdot P_2$	$2{,}974 \cdot 10^{-3}$	$-1{,}261 \cdot 10^{-3}$	-0,017	$-5{,}35 \cdot 10^{-4}$	17
$P_{22} = P_2$	-	-	-	-	-
$P_{22} = 1{,}001 \cdot P_2$	$4{,}558 \cdot 10^{-5}$	$-1{,}426 \cdot 10^{-5}$	$-1{,}298 \cdot 10^{-4}$	$-4{,}324 \cdot 10^{-6}$	18
$P_{22} = 1{,}1 \cdot P_2$	$3{,}246 \cdot 10^{-5}$	$-1{,}054 \cdot 10^{-5}$	$-9{,}89 \cdot 10^{-5}$	$-3{,}766 \cdot 10^{-6}$	10
$P_{22} = 1{,}2 \cdot P_2$	$5{,}742 \cdot 10^{-4}$	$-1{,}718 \cdot 10^{-4}$	$-1{,}355 \cdot 10^{-3}$	$-5{,}966 \cdot 10^{-5}$	9
$P_{22} = 1{,}3 \cdot P_2$	0.011	$-3{,}129 \cdot 10^{-3}$	-0,021	$-1{,}081 \cdot 10^{-3}$	8
$P_{22} = 1{,}4 \cdot P_2$	$8{,}734 \cdot 10^{-3}$	$-2{,}359 \cdot 10^{-3}$	-0,014	$-7{,}984 \cdot 10^{-4}$	15

Для достоверности эксперимента, покажем влияние параметров второго установившегося режима на погрешности расчёта при отклонении уровней напряжения по концам линии. Полученные результаты приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6 – Зависимость погрешности расчёта алгоритмом от параметров второго установившегося режима при отклонении уровней напряжения по концам линии

Параметр Режима	dR, %	dX, %	dG, %	dB, %	Число итераций
$U_{Ф21} = 0{,}95 \cdot U_{Ф1}$	$7{,}381 \cdot 10^{-6}$	$-1{,}565 \cdot 10^{-6}$	$5{,}531 \cdot 10^{-9}$	$-5{,}069 \cdot 10^{-7}$	11
$U_{Ф21} = 0{,}99 \cdot U_{Ф1}$	$3{,}123 \cdot 10^{-3}$	$-9{,}702 \cdot 10^{-4}$	$-8{,}312 \cdot 10^{-3}$	$-3{,}431 \cdot 10^{-4}$	9
$U_{Ф21} = U_{Ф1}$	-	-	-	-	-
$U_{Ф21} = 1{,}01 \cdot U_{Ф1}$	$4{,}885 \cdot 10^{-7}$	$-1{,}842 \cdot 10^{-8}$	$1{,}939 \cdot 10^{-6}$	$4{,}959 \cdot 10^{-8}$	10
$U_{Ф21} = 1{,}05 \cdot U_{Ф1}$	$4{,}364 \cdot 10^{-5}$	$-1{,}296 \cdot 10^{-5}$	$-1{,}194 \cdot 10^{-4}$	$-1{,}996 \cdot 10^{-6}$	7
$U_{Ф22} = 0{,}95 \cdot U_{Ф2}$	$8{,}391 \cdot 10^{-5}$	$-2{,}501 \cdot 10^{-5}$	$-2{,}296 \cdot 10^{-4}$	$-4{,}24 \cdot 10^{-6}$	7
$U_{Ф22} = 0{,}99 \cdot U_{Ф2}$	$2{,}64 \cdot 10^{-5}$	$-9{,}313 \cdot 10^{-6}$	$-1{,}038 \cdot 10^{-4}$	$-2{,}927 \cdot 10^{-6}$	53
$U_{Ф22} = U_{Ф2}$	-	-	-	-	
$U_{Ф22} = 1{,}01 \cdot U_{Ф2}$	$9{,}223 \cdot 10^{-3}$	$-2{,}937 \cdot 10^{-3}$	-0,026	$-1{,}051 \cdot 10^{-3}$	9

Также было выяснено, что при совместных вариациях уровней напряжения второго установившегося режима погрешности в расчёте параметров СЗ ВЛ получаются сопоставимыми с приведёнными в табл. 2.6.

Анализируя полученные данные, можно сказать, что при отклонениях параметров второго режима от параметров первого в диапазоне ±1 % как при изменении активной мощности в конце линии, так и при изменении напряжений достигаются малые величины погрешностей параметров ВЛ. Но стоит отметить, что при полной схожести обоих режимов возникает невозможность

решения исходной системы уравнений (2.13-2.16), (2.19), т. к. уравнение (2.19), построенное на разнице квадратов тока линии, обращается в тождество, и, соответственно, расчётная модель алгоритма не может найти решение. Отсюда следует мысль, что исследуемый алгоритм не может работать с параметрами одного режима. Для этого обязательно требуется второй режим, но разница между ними может быть весьма незначительна, порядка 0,1÷1 %. Такое расхождение параметров приводит к весьма приемлемым погрешностям расчёта параметров ВЛ.

Как выяснено ранее, для работы исследуемого алгоритма необходим второй установившийся режим. В приведённых выше расчётах рассматривается ситуация, когда при выборе второго режима не учитывается влияние погодных условий на параметры СЗ ВЛ. Следовательно, обоим режимам соответствуют одни и те же параметры СЗ, за исключением влияния тока линии на активное сопротивление. В действительности параметры линии меняются с течением времени, что зависит от режимных и метеоусловий. Отсюда можно сделать заключение о том, что второй установившийся режим будет соответствовать неким другим параметрам ВЛ, т. к. он выбирается по истечении небольшого периода времени, необходимого для изменения параметров. За это время параметры СЗ ВЛ могут претерпеть некоторые изменения, величина которых зависит от внешних факторов. В связи с этим стоит задача определения зависимости результатов расчёта алгоритмом от погоды. Для решения этой задачи принимаем параметры второго режима при увеличении перетока активной мощности в конце линии на 20 % от перетока первого режима, т. е. $P_{22} = 1{,}2 \cdot P_2$. При этом будут меняться параметры схемы замещения ВЛ для второго режима. Полученные результаты представлены в табл. 2.7-2.10.

Таблица 2.7 – Влияние изменения погонного активного сопротивления на погрешности расчёта алгоритма

Погонное активное сопротивление второго установившегося режима	dR, %		dX, %		dG, %		dB, %	
$r_{02} = 0{,}95 \cdot r_0$	-2.21	7.601	0.939	0.936	12.292	9.808	0.399	0.4
$r_{02} = 0{,}99 \cdot r_0$	-0.405	-1.422	0.172	0.171	2.257	1.715	0.073	0.073
$r_{02} = r_0$	0	0	0	0	0	0	0	0
$r_{02} = 1{,}01 \cdot r_0$	0.391	1.379	-0.166	-0.165	-2.171	-1.611	-0.071	-0.071
$r_{02} = 1{,}05 \cdot r_0$	1.808	6.493	-0.767	-0.763	-10.061	-7.112	-0.327	-0.327

Таблица 2.8 – Влияние изменения погонной активной проводимости на погрешности расчёта алгоритма

Погонное активное сопротивление второго установившегося режима	dR, %		dX, %		dG, %		dB, %	
$g_{02} = 0{,}95 \cdot g_0$	-1.622	-1.612	0.689	0.689	9.021	6.931	0.293	0.293
$g_{02} = 0{,}99 \cdot g_0$	-0.324	-0.322	0.138	0.138	1.803	1.36	0.059	0.059
$g_{02} = g_0$	0	0	0	0	0	0	0	0
$g_{02} = 1{,}01 \cdot g_0$	0.325	0.323	-0.138	-0.138	-1.806	-1.351	-0.059	-0.059
$g_{02} = 1{,}05 \cdot g_0$	1.622	1.612	-0.688	-0.688	-9.026	-6.631	-0.293	-0.293

Таблица 2.9 – Влияние изменения погонной реактивной проводимости на погрешности расчёта алгоритма

Погонное активное сопротивление второго установившегося режима	dR, %		dX, %		dG, %		dB, %	
$b_{02} = 0{,}95 \cdot b_0$	83.99	84.1	-34.095	-33.639	-480.67	-501.7	-15.274	-21.55
$b_{02} = 0{,}99 \cdot b_0$	18.06	18.17	-7.593	-7.52	-100.99	-98.859	-3.265	-4.345
$b_{02} = 0{,}998 \cdot b_0$	4.906	4.924	-2.077	-2.063	-27.326	-24.816	-0.887	-1.096
$b_{02} = b_0$	0	0	0	0	0	0	0	0
$b_{02} = 1{,}001 \cdot b_0$	-0.02	-0.04	8*10^-3	1.3*10^-3	0.106	2.414	3.4·10^-3	0.107
$b_{02} = 1{,}03 \cdot b_0$	-47.3	-47.9	20.564	20.401	259.914	251.081	8.549	11.306

Таким образом, если второй режим обусловлен изменениями не только энергопотребления, но и схемных параметров ВЛ за счёт метеоусловий, то решение системы даёт некие средние параметры ВЛ, которые отличаются от схем замещения, соответствующим обоим режимам. Чем выше разница в параметрах СЗ 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 %, кроме реактивной проводимости, для получения приемлемых результатов расчёта алгоритма. Высокие погрешности, связанные с изменением реактивной проводимости, могут быть обусловлены нелинейностью исходной системы уравнений. Для разрешения этого вопроса нужны дополнительные исследования, которые являются отдельной самостоятельной задачей.

Остаётся открытым вопрос влияния погодных факторов на параметры схемы замещения. В распространённых методах определения параметров ВЛ используются некоторые усреднённые показатели атмосферных условий, которые считают неизменными. В большинстве случаев справочные данные физических свойств системы и погодных условий могут не соответствовать реальности. Это актуально для ВЛ, находящихся в областях, где происходят значительные сезонные изменения погодных условий. К их числу относится большая часть территории РФ.

Одним из факторов, влияющим на параметры схемы замещения ВЛ является температура провода. Широко известно, что электрическое сопротивление металла зависит от величины температуры. При расчётах используют следующее выражение:

$$\rho_0 = \rho_{0(20°C)} \cdot \left[1 + \beta_r \cdot \left(T_{\text{пр}} - T_0\right)\right], \qquad (2.25)$$

где ρ_0 – это удельное сопротивление материала провода при температуре провода $T_{\text{пр}}$;

$\rho_{0(20°C)}$ – это удельное сопротивление материала провода при температуре T_0 (обычно 20 °С);

B_r – температурный коэффициент электрического сопротивления, Ом/град.

Также нужно иметь ввиду, что при эксплуатации ВЛ считается, что температура провода находится в пределах 60÷70°С при номинальном токе нагрузки. Температура проводника будет определяться одновременно тепловыделением и охлаждением. Теплоотвод проводов ВЛ увеличивается с возрастанием скорости ветра, уменьшением температуры окружающей среды, выпадением осадков.

По условию равенства количества теплоты, выделяющегося проводом, и количества теплоты, отводимого проводом, температура провода ВЛ в любом режиме работы определяется следующим образом:

$$I^2 \cdot \rho_{0(20°C)} \cdot \left[1+\alpha \cdot \left(T_{\text{пр}} - T_0\right)\right] = \sigma \cdot F \cdot \left(T_{\text{пр}} - T_{\text{окр}}\right), \qquad (2.26)$$

где I – ток, протекающий по проводнику, А;

α – коэффициент теплоотдачи, эквивалентный количеству тепла, отводимого с 1 см^2 поверхности проводника за 1 секунду при разности температур провода и окружающей среды в 1 °C, Вт/м^2·град;

F – охлаждаемая поверхность провода, см^2;

$T_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды, °С.

В свою очередь, коэффициент теплоотдачи σ состоит из двух частей, которые определяются видом теплообмена. Первая их них определяется тепловым излучением, вторая – конвекцией.

При тепловом излучении количество отдаваемой проводником теплоты пропорционально разности абсолютных температур. В этом случае коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{л}}$ вычисляется по выражению:

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{5,6 \cdot \varepsilon}{T_{\text{пр}} - T_{\text{окр}}} \cdot \left(\left(\frac{273 + T_{\text{пр}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + T_{\text{окр}}}{100} \right)^4 \right), \qquad (2.27)$$

где ε – постоянная лучеиспускания.

Этот параметр может варьироваться в большом диапазоне, что обуславливается состоянием поверхности провода. К примеру, у чистого алюминия $\sigma_л$ равен 0,06, а у загрязнённого до 0,5. По опыту эксплуатации рекомендуют принимать ε равной 0,3 для нового провода (первые два года эксплуатации) и 0,6 для последующих лет.

При конвекции коэффициент теплоотдачи $\sigma_к$ определяется из уравнений конвективного теплообмена:

$$Nu = F\left(\mathrm{Re}, Gr\right), \tag{2.28}$$

где Nu – критерий Нуссельта, определяющий коэффициент теплоотдачи;

Re – критерий Рейнольдса, характеризующий вынужденную конвекцию;

Gr – критерий Грасгофа, характеризующий свободную конвекцию.

Критерий Нуссельта вычисляется по формуле:

$$Nu = \frac{\alpha_к \cdot d_{пр}}{\lambda_в}, \tag{2.29}$$

где $\lambda_в$ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·°С).

Отсюда можем определить $\alpha_к$ как:

$$\alpha_к = \frac{Nu \cdot \lambda_в}{d_{пр}}. \tag{2.30}$$

Для этого выражения необходимо определить критерий Нуссельта. Это осуществляется при помощи соотношений, представленных в документе [], в зависимости от скорости и направления ветра, температуры воздуха, диаметра провода.

Затем, определив все предварительные параметры, можно перейти к уравнению интенсивности теплообмена провода с воздухом:

$$k_м \cdot k_п \cdot I^2 \cdot \rho_{0(20°C)} \cdot \left(1 + \beta_r \cdot \left(T_{пр} - 20\right)\right) = \left(\alpha_л + \alpha_к\right) \cdot F \cdot \left(T_{пр} - T_{окр}\right), \tag{2.31}$$

где $k_м$ – коэффициент, учитывающий магнитные потери в стали;

$k_п$ – коэффициент, учитывающий поверхностный эффект;

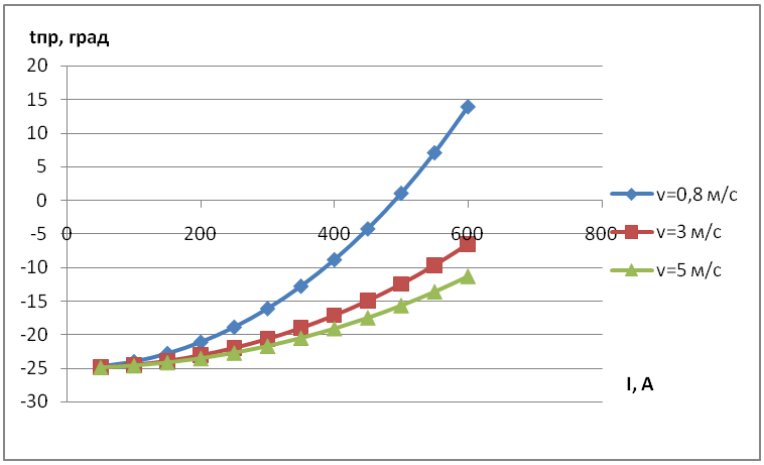
β_r – температурный коэффициент сопротивления.

Данное уравнение является нелинейным, решение которого можно определить в ходе итерационного процесса. В таком случае установившаяся температура провода на k-й итерации рассчитывается по формуле:

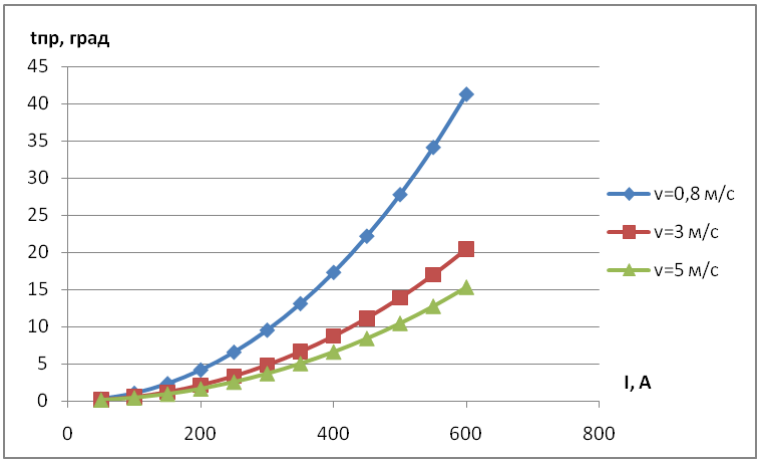
$$T_{\text{пр}}^{(k)} = \frac{k_{\text{м}} \cdot k_{\text{п}} \cdot I^2 \cdot \rho_{0(20°C)} \cdot \left(1 - 20 \cdot \beta_r\right) + F \cdot T_{\text{в}} \cdot \left(\alpha_{\text{к}}^{(k-1)} + \alpha_{\text{л}}^{(k-1)}\right)}{\left(\alpha_{\text{к}}^{(k-1)} + \alpha_{\text{л}}^{(k-1)}\right) \cdot F - k_{\text{м}} \cdot k_{\text{п}} \cdot I^2 \cdot \rho_{0(20°C)} \cdot \beta_r}, \qquad (2.32)$$

где $\alpha_{\text{к}}^{(k-1)}$, $\alpha_{\text{л}}^{(k-1)}$ - значения коэффициентов теплоотдачи, вычисленные по значению температуры провода на предыдущей итерации $T_{\text{пр}}^{(k-1)}$.

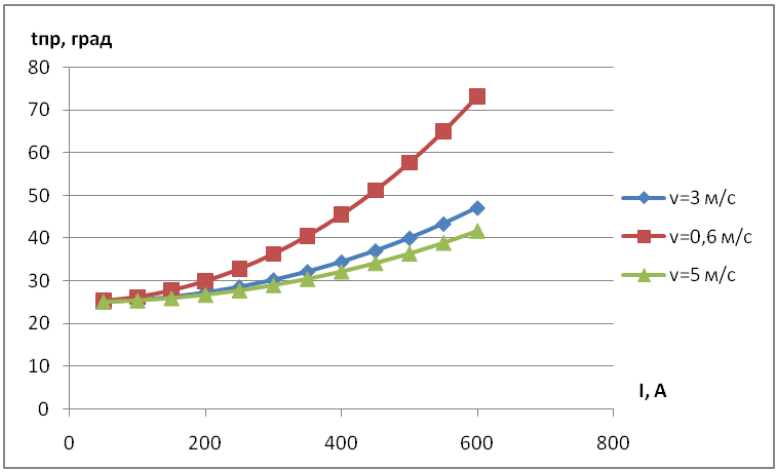
Используя различные исходные данные в виде скорости и направления ветра, температуры воздуха, тока в проводнике, построим графические зависимости с целью анализа влияния каждого фактора на температуру провода.



а)



б)



в)

Рисунок 2.2 - Зависимости температуры провода марки АС-240/32 от протекающего тока, скорости ветра, температуры окружающей среды: а) -25 °С; б) 0 °С; в) 25 °С

Анализируя рис. 2.2, можно сказать, что при токах, составляющих примерно 30 % от длительно-допустимого, и не больших ветровых нагрузках значительные изменения температуры провода происходят в основном из-за колебания температуры окружающей среды. При токовой загрузке более 30 % от длительно-допустимого тока линии и небольшой скорости ветра (около 0,6 м/с), ток, проходящий по проводнику, оказывает заметное влияние на его нагрев.

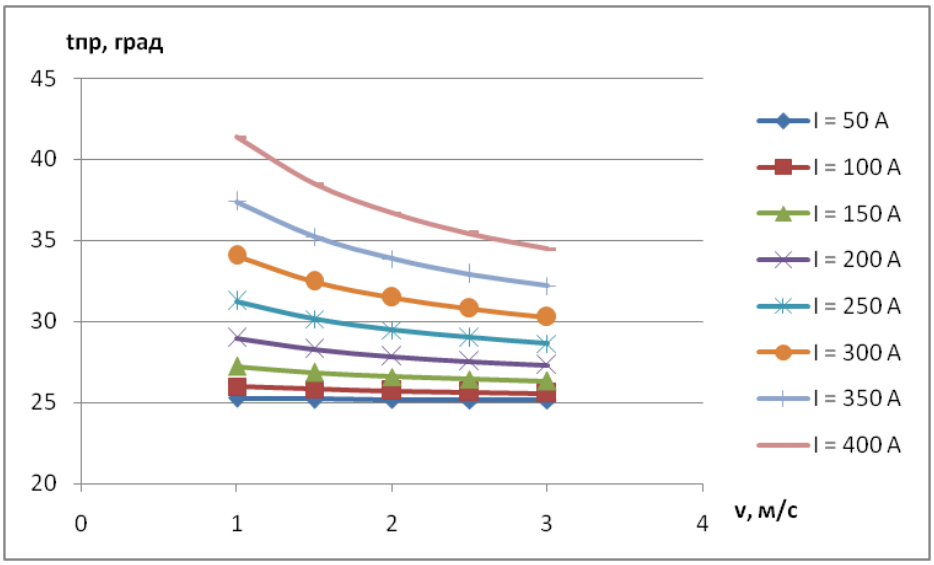


Рисунок 2.3 - Зависимости температуры провода марки АС-240/32 от скорости ветра и протекающего тока

Данные зависимости на рис. 2.3 показывают, что при увеличении тока в проводнике происходит естественное возрастание его температуры. Усиление скорости ветра приводит к ослаблению нагрева в связи с повышением отвода тепла.

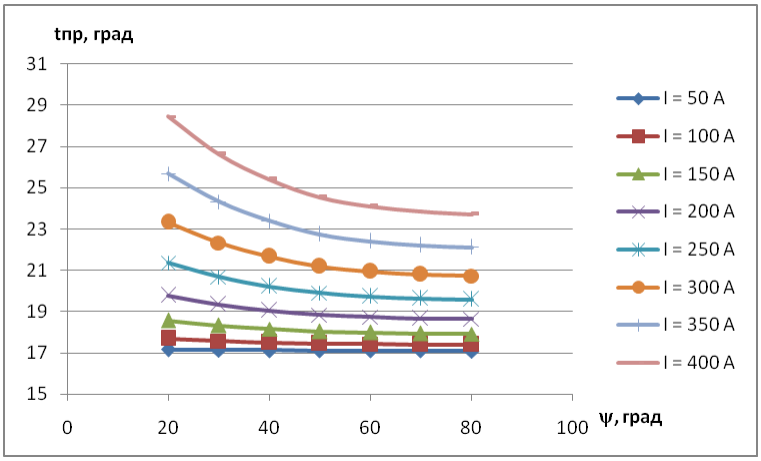
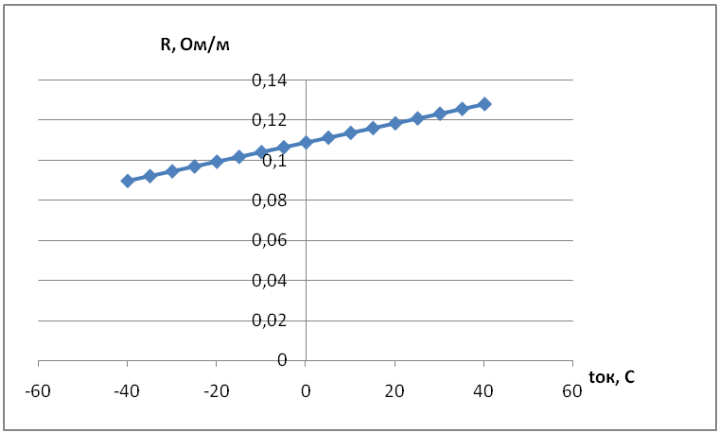


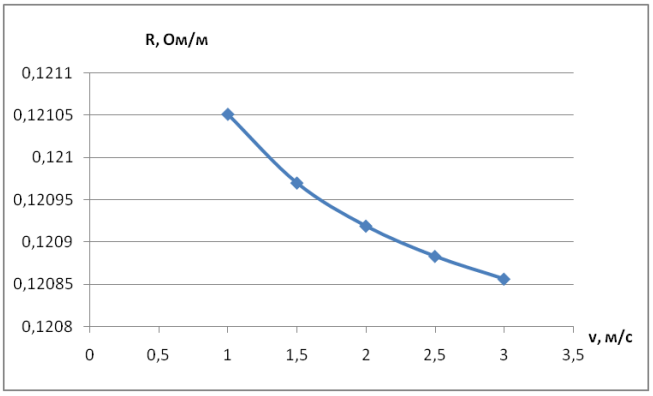
Рисунок 2.4 - Зависимости температуры провода марки АС-240/32 от направления ветра и протекающего тока

По зависимостям на рис. 2.4 видно, что направление движения воздушных масс по отношению проводу оказывает на него весомое влияние при токах, больших 30 % от длительно-допустимого (примерно 200 А для АС-240/32). Причём, увеличение угла направления ветра также приводит к усилению теплоотвода.

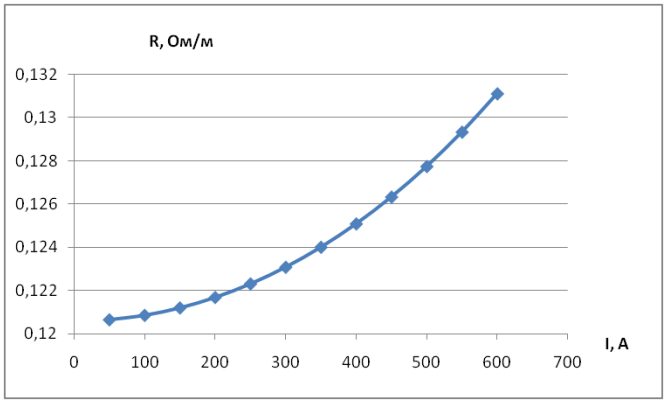
На основе представленных графиков построим зависимости удельного активного сопротивления участка ВЛ протяжённостью 1 м от температуры окружающей среды, скорости ветра, величины протекающего тока.



а)



б)



в)

Рисунок 2.5 – Зависимости удельного активного сопротивления участка ВЛ протяжённостью 1 м: а) от температуры окружающей среды; б) скорости ветра; в) величины протекающего тока

При анализе графиков выяснено, что наименьшее влияние на параметры ВЛ оказывает скорость ветра, т. к. это проявляется при токах, больших 30 % от длительно-допустимых. При малых влияние скорости ветра незначительно. Как и оговорено ранее, ток, текущий в проводе существенно меняет

температуру провода и, соответственно, активное сопротивление. Стоит отметить, что различные сочетания таких факторов, как ток линии и температура воздуха, определяют наибольшее воздействие на погонное активное сопротивление ВЛ. Известно, что суточные колебания температуры воздуха могут достигать 20 °С и более, ветровые изменения могут варьироваться в более широких пределах. Также есть примеры сильного влияния интенсивности ветра на температуру воздуха в краткосрочном периоде. Поэтому комбинации метеоусловий могут существенно воздействовать на активное сопротивление ВЛ.

На базе созданной расчётной модели определим наибольшие отклонения удельного активного сопротивления от табличных значений при двух случаях: 1) $T_{\text{окр}}$ = -40 °*C*, скорость ветра – 6 м/с, I = 100 А; 2) $T_{\text{окр}}$ = 40 °*C*, скорость ветра – 0,8 м/с, I = 400 А. В качестве примера для расчёта используём одноцепную ВЛ, выполненную проводом марки АС-240/32 со следующими характеристиками:

$$\rho_{0(20°C)} = 0,0283 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}; \ \alpha = 0,00403.$$

В первом случае получаем температуру провода $T_{\text{пр}}$ = -39,701 °*C*, во втором $T_{\text{пр}}$ = 58,413 °*C*. Используя эти данные можно определить ρ_0. Тогда удельное сопротивление провода будет варьироваться в зависимости от атмосферных условий в следующих пределах:

$$\rho_{0(-40°C)} = 0,0283 \cdot 10^{-6} \cdot \left[1 + 0,00403 \cdot \left(-39,701 - 20\right)\right] = 0,02149 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{0(40°C)} = 0,0283 \cdot 10^{-6} \cdot \left[1 + 0,00403 \cdot \left(58,413 - 20\right)\right] = 0,03268 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Отсюда в процентном соотношении:

$$\frac{\rho_{0(20°C)} - \rho_{0(-40°C)}}{\rho_{0(20°C)}} = \frac{0,0283 \cdot 10^{-6} - 0,02149 \cdot 10^{-6}}{0,0283 \cdot 10^{-6}} \cdot 100\,\% = 24,064\,\%;$$

$$\frac{\rho_{0(40°C)} - \rho_{0(20°C)}}{\rho_{0(20°C)}} = \frac{0,03268 \cdot 10^{-6} - 0,0283 \cdot 10^{-6}}{0,0283 \cdot 10^{-6}} \cdot 100\,\% = 15,477\,\%.$$

То есть на примере провода АС-240/32 при изменении температуры окружающей среды от -40 °С до 40 °С и при различных погодных условиях можно сказать, что уменьшение удельного активного сопротивления провода составляет около 25 %, а увеличение – 16 %. При высоких токовых нагрузках по условию нагрева температура проводника может достичь 70 °С, при малых токовых нагрузках и низкой температуре окружающей среды до -50 °С. Это повлечёт за собой уже большие отклонения ρ_0 от табличных значений.

Отсюда следует вывод: активное сопротивление линии имеет зависимость от погодных условий и может варьироваться в различных диапазонах при всевозможных сочетаниях атмосферных явлений.

Немаловажным фактором является возникновение коронирующего разряда на проводах линии. Существующие методы расчёта потерь на корону основываются на определении характеристик коронного разряда и экспериментальных данных, полученных на опытных и промышленных ВЛ с обобщением характеристик короны. Но в практической деятельности зачастую возникает необходимость оценки потерь на корону конкретной линии в различных погодных условиях. Обычно рассматривают потери мощности на корону при хорошей погоде, погоде с повышенной влажностью, мокром и сухом снеге, тумане, дожде, изморози. Так, в работе [11] представлены графические характеристики зависимости удельных потерь на корону от произведения радиуса проводника и относительной плотности воздуха при различных погодных условиях.

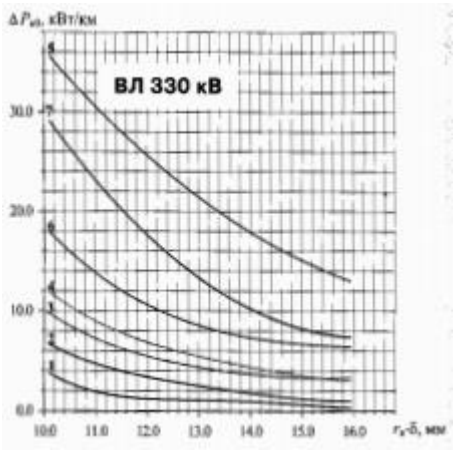


Рисунок 2.6 – Зависимости удельных потерь на корону от произведения радиуса проводника и относительной плотности воздуха при различных погодных условиях: 1 – хорошая погода; 2 – погода с повышенной влажностью; 3 – сухой снег; 4 – туман; 5 – изморозь, гололёд; 6 – дождь интенсивности 0,5 мм/ч, 7 – дождь интенсивности 2 мм/ч

Как видно из графика, влияние погоды существенно сказывается на потерях активной мощности в линии в связи с явлением коронного разряда на проводах. Это в свою очередь приводит к зависимости активной проводимости линии от разновидности атмосферных явлений.

Исходя из представленной выше информации, приведём краткие выводы по выбору второго установившегося режима для расчёта параметров схемы замещения ВЛ методом скалярных параметров режима:

1) второй режим следует выбирать из того же времени года, что и первый, т. к. разность времён года сопровождается разницей в количестве и виде осадков. Это может привести к неточности расчёта одного из параметров ВЛ;

2) второй режим следует подобрать приблизительно по той же погоде, при которой были измерены параметры первого режима. Как известно, погода может достаточно продолжительное время не претерпевать изменений, либо может поменяться крайне быстро, даже в течение часа. Эти резкие изменения могут внести погрешность в расчёт как продольного сопротивления линии, так и поперечной проводимости;

3) при выборе второго режима стоит обратить внимание на загрузку линии по току. При изменении тока в проводнике происходит соответствующее изменение погонного активного сопротивления. В течение дня электрический режим сети может значительно варьироваться, т. к. к этому приводят периодические включения и отключения нагрузок. Как правило, в утренние часы потребление серьёзно возрастает, к обеду и до вечера уже существенно снижается, а в вечернее время снова наблюдается значительный рост. Всё это сказывается на величине тока линии и, следовательно, на её параметрах. Поэтому следует выбирать второй режим в то же время суток, которому соответствует первый;

4) не следует выбирать второй режим, весьма близкий или равный по параметрам к первому, т. к. в этом случае исходная система уравнений может не решиться ввиду того, что одно из уравнений обратится в тождество. Второй режим может быть «близким» к первому (0,001-1%), если измерение его параметров проводиться с коротким интервалом времени по отношению к измерениям первого режима и при той же погоде. Коротким интервалом, в данной ситуации, можно предположить 1 час. В течение этого времени режим может колебаться незначительно в зависимости от времени суток и потреблении электроэнергии. Поэтому измерения второго режима предпочтительнее осуществить в течение 30 минут -1 часа после первоначальных с учётом времени суток и погодных условий.

2.3. Выводы по разделу

В ходе выполнения второго раздела был изучен математический аппарат исследуемого алгоритма, выяснены некоторые особенности, связанные с использованием в искомой системе уравнений параметров двух установившихся режимов. Выбор второго режима является специфичной задачей. Проведено исследование, показывающее, как разница в параметрах двух режимов влияет на работу алгоритма и погрешности расчёта. Здесь возникает два случая: 1) параметры режима варьируются вследствие изменения потребления

электроэнергии, при этом схема замещения не претерпевает изменений, здесь получается некий идеализированный вариант; 2) параметры режима варьируются вследствие изменения потребления электроэнергии и параметров самой схемы замещения, связанной с вариациями тока линии и влиянием погодных условий, данный вариант более приближен к реальности. Для первого случая выяснено, что даже незначительная разница в параметрах режимов приводит к приемлемым результатам расчёта СЗ. Такая разница может достигаться в течение 30 минут или часа по причине суточных изменений энергопотребления. Во втором случае изменение схемных параметров в связи с погодными условиями приводит к существенным погрешностям расчёта. Если эти изменения находятся в интервале ±5 % по сравнению с параметрами СЗ для первого режима, за исключением реактивной проводимости, то погрешности в результате расчёта являются незначительными. Исходя из полученных результатов, исследуемый алгоритм достаточно перспективен для дальнейшего изучения и практического применения.

РАЗДЕЛ 3. ТЕСТИРОВАНИЕ СПОСОБА НАХОЖДЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЛ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ МЕСТНЫХ СКАЛЯРНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА

В данном разделе необходимо провести оценку влияния погрешности измерительных трансформаторов на результаты расчёта алгоритма. Это является целесообразным, т. к. во всех алгоритмах определения параметров СЗ, использующих параметры режима, имеет место погрешности первичных измерений трансформаторов тока и напряжения.

3.1. Оценка влияния измерительных трансформаторов на погрешности расчёта параметров СЗ ВЛ

Все измерительные трансформаторы имеют класс точности. Он указывает, насколько величина, измеренная этим устройством, отличается от действительности. Если, к примеру, класс точности трансформатора тока 0,5, то измеренная величина будет варьироваться в диапазоне ±0,5 % от реальной. Отсюда видно, что наибольшие погрешности достигаются при крайних значениях этого интервала. Так как в исследуемом алгоритме используются в качестве измеряемых параметров напряжения и активная и реактивная мощность по концам линии, то нужно оценить влияние и трансформаторов напряжения и трансформаторов тока. В реальных условиях измерительные трансформаторы по концам линии могут иметь различные погрешности в пределах класса точности. С этой целью необходимо составить комбинации погрешностей измерительных трансформаторов (на примере класса точности 0,5 %):

1) ТН и ТТ имеют нулевую погрешность;

2) ТН и ТТ в начале ВЛ имеют отклонение +0,5 %, ТН и ТТ в конце ВЛ имеют нулевую погрешность;

3) ТН и ТТ в начале ВЛ имеют отклонение -0,5 %, ТН и ТТ в конце ВЛ имеют нулевую погрешность;

4) ТН и ТТ в начале ВЛ имеют нулевую погрешность, ТН и ТТ в конце ВЛ имеют отклонение +0,5 %;

5) ТН и ТТ в начале ВЛ имеют нулевую погрешность, ТН и ТТ в конце ВЛ имеют отклонение -0,5 %;

6) ТН и ТТ в начале ВЛ имеют отклонение +0,5 %, ТН и ТТ в конце ВЛ имеют отклонение -0,5 %;

7) ТН и ТТ в начале ВЛ имеют отклонение -0,5 %, ТН и ТТ в конце ВЛ имеют отклонение +0,5 %;

8) ТН и ТТ в начале ВЛ имеют отклонение +0,5 %, ТН и ТТ в конце ВЛ имеют отклонение +0,5 %;

9) ТН и ТТ в начале ВЛ имеют отклонение -0,5 %, ТН и ТТ в конце ВЛ имеют отклонение -0,5 %.

Используя расчётную модель алгоритма, апробированную во втором разделе, для данных вариаций отклонений измерительных трансформаторов определены погрешности расчёта параметров СЗ. Расчёт ведётся с учётом того, что ТН и ТТ имеют класс точности, равный 1.

Таблица 3.1 – Погрешности расчёта параметров СЗ при комбинации 1

dR, %	dX, %	dG, %	dB, %
0	0	0	0

Таблица 3.2 – Погрешности расчёта параметров СЗ при комбинации 2

dR, %	dX, %	dG, %	dB, %
3,2	-3,6	-14,1	-1,1

Таблица 3.3 – Погрешности расчёта параметров СЗ при комбинации 3

dR, %	dX, %	dG, %	dB, %
-2,8	-3,5	-14,4	1,2

Таблица 3.4 – Погрешности расчёта параметров СЗ при комбинации 4

dR, %	dX, %	dG, %	dB, %
-2,7	3,4	14	1,18

Таблица 3.5 – Погрешности расчёта параметров СЗ при комбинации 5

dR, %	dX, %	dG, %	dB, %
3,3	-3,7	-14,5	-1,17

Таблица 3.6 – Погрешности расчёта параметров СЗ при комбинации 6

dR, %	dX, %	dG, %	dB, %
6,7	-7,2	-28,4	-2,6

Таблица 3.7 – Погрешности расчёта параметров СЗ при комбинации 7

dR, %	dX, %	dG, %	dB, %
-4,8	6,8	28,04	2,4

Таблица 3.8 – Погрешности расчёта параметров СЗ при комбинации 8

dR, %	dX, %	dG, %	dB, %
0,005	-0,009	0,03	0,01

Таблица 3.9 – Погрешности расчёта параметров СЗ при комбинации 9

dR, %	dX, %	dG, %	dB, %
0,004	-0,01	0,026	0,01

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что наибольшие погрешности в расчёте параметров СЗ получаются при шестой комбинации отклонений измерительных трансформаторов. Взяв за основу эту комбинацию проведём исследование влияния класса точности ТН и ТТ на определение искомых величин. Здесь рассматриваются три случая: 1) изменение класса точности ТН при постоянстве класса точности ТТ = 0,2;) изменение класса точности ТТ при постоянстве класса точности ТН = 0,2; 3) совместное изменение класса точности ТН и ТТ.

Таблица 3.10 – Влияние изменения класса точности ТН на определение искомых величин

Класс точности ТН	dR, %	dX, %	dG, %	dB, %

0	0	0	0	0
0,2	-0,1232616	-1,436948	-5,7278574	-4,706
0,5	-0,364729	-1,661565	-6,3647888	-5,36101
1	-3,070035	-2,008463	-7,3697467	-6,35241
3	-13,9586	-3,29709	-11,3216	-9,90937

Таблица 3.11 – Влияние изменения класса точности ТТ на определение искомых величин

Класс точности ТТ	dR, %	dX, %	dG, %	dB, %
0	0	0	0	0
0,2	1,255412	-1,448607	-5,7591221	-4,74578
0,5	4,849425	-3,429633	-13,7438	-11,0862
1	11,158924	-6,860075	-26,9743	-21,47056
3	38,758426	-21,886641	-75,3572	-58,05649

Таблица 3.12 – Влияние изменения класса точности ТН и ТТ на определение искомых величин

Класс точности ТН	Класс точности ТТ	dR, %	dX, %	dG, %	dB, %
0	0	0	0	0	0
0,2	0,2	1,255412	-1,448607	-5,7591221	-4,74578
0,5	0,5	3,217357	-3,623249	-14,3337	-11,61366
1	1	6,684637	-7,2449971	-28,405	-22,37455
3	3	19,165924	-20,287702	-77,3434	-53,98799

Представим полученные результаты в форме графических зависимостей.

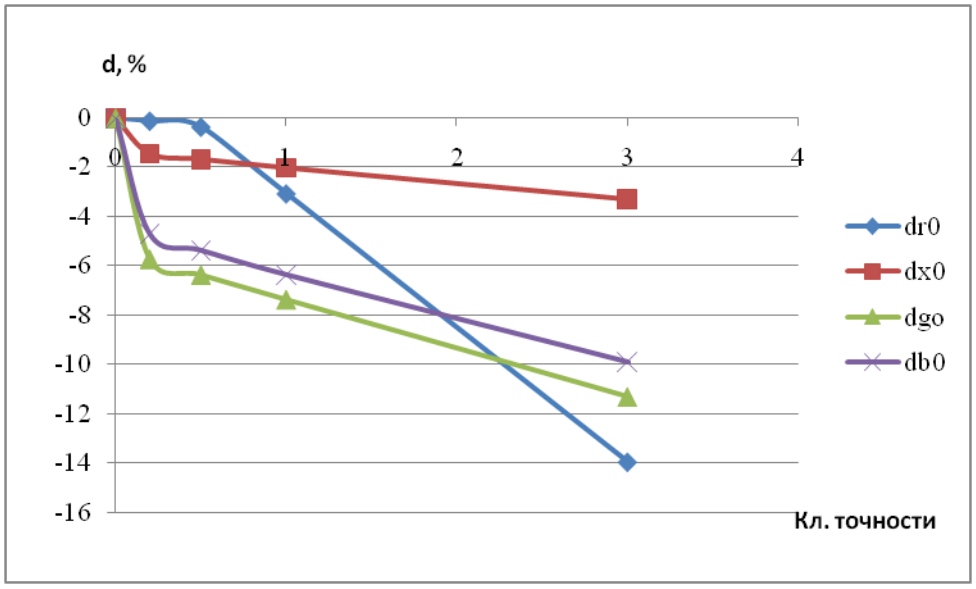


Рисунок 3.1 – Влияние изменения класса точности ТН на определение искомых величин

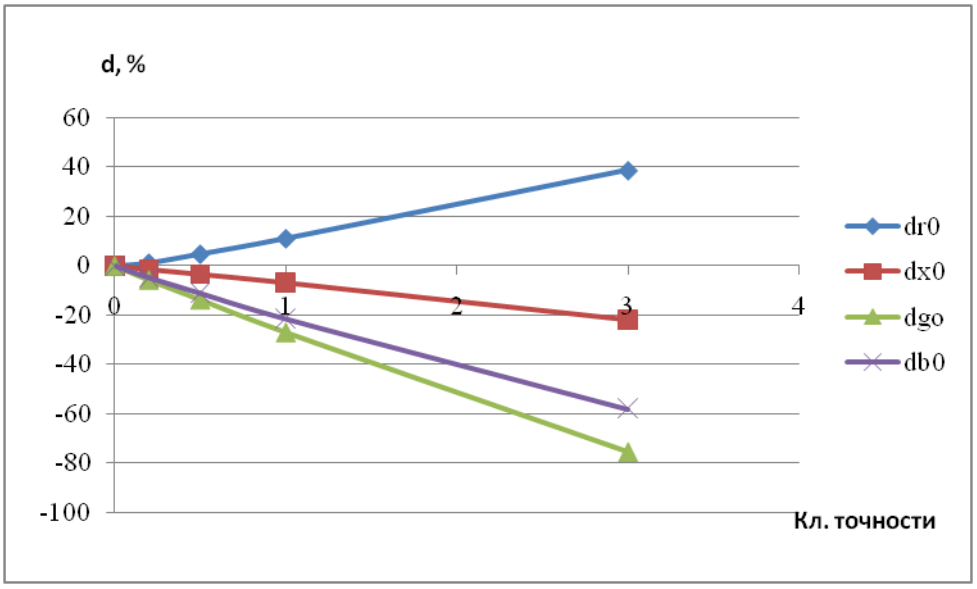


Рисунок 3.2 – Влияние изменения класса точности ТТ на определение искомых величин

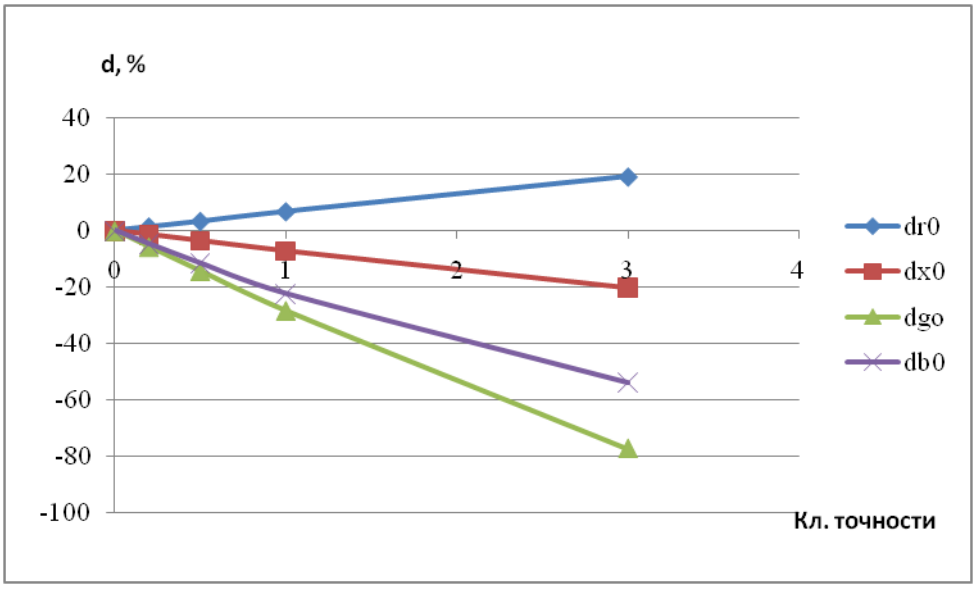


Рисунок 3.3 – Влияние изменения класса точности ТН и ТТ на определение искомых величин

Как видно из полученных графиков, уменьшение класса точности измерительных трансформаторов приводит к увеличению погрешности расчёта алгоритма, т. е. параметров СЗ ВЛ. Более высокий класс точности сводит погрешности к минимуму.

3.2. Выводы по разделу

В данной части ВКР проведена оценка влияния погрешности измерительных трансформаторов на результаты расчёта алгоритма. С этой целью были исследованы различные вариации погрешностей ТН и ТТ, и выбрана та, которая даёт наибольшую погрешность расчёта, а именно когда ТН и ТТ в начале ВЛ имеют отклонение в большую сторону, ТН и ТТ в конце ВЛ имеют отклонение в меньшую сторону. Приняв этот вариант отклонений за основу, определили зависимости результатов расчёта параметров ВЛ от класса точности измерительных трансформаторов. Выяснено, что в пределах класса точности, равного 0,5, погрешности расчёта незначительны. При менее точных ТН и ТТ наблюдаются погрешности, сопоставимые с теми, что присущи табличным удельным параметрам ВЛ. Поэтому на базе исследуемого алго-

ритма показано, что для любых методов определения параметров ВЛ, использующих информацию о параметрах режима, имеют место погрешности измерительных трансформаторов. В пределах класса точности 0,5 эти способы весьма пригодны и дают точные результаты. На сегодняшний момент ведётся активная разработка и совершенствование измерительных устройств, что обуславливает высокую перспективу развития и практической реализации исследуемого алгоритма на основе местных скалярных параметров режима.

РАЗДЕЛ 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Цель данного раздела – это расчёт экономических показателей исследования идентификации параметров ЛЭП по результатам измерения местных скалярных параметров режима с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для этого необходимо выполнить следующее: оценку конкурентоспособности проекта, описание плана выполнения работы, определение трудоёмкости работ, построение линейного графика работ и расчёт стоимости затрат научного исследования (НИ).

4.1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НТИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1. Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках.

В данном параграфе будет проводиться анализ и сравнение методики определения параметров схемы замещения ВЛ на базе местных скалярных параметров режима и метода, основанного на синхронизированных векторных измерениях. Показатели, по которым сравниваются эти два метода с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведены в табл. 4.1. Здесь индексом «ф» обозначен исследуемый алгоритм, индексом «к» - конкурентный алгоритм, использующий синхронизированные измерения.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		$Б_ф$	$Б_к$	$К_ф$	$К_к$
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение точности определения параметров схемы замещения ВЛ	0,1	5	5	0,5	0,5
Простота вычисления искомых величин (сложность структуры алгоритма)	0,05	3	3	0,15	0,15
Повышение наблюдаемости конкретной части энергосистемы	0,07	3	4	0,21	0,28
Повышение возможности анализа возникающих аварийных ситуаций	0,075	4	4	0,3	0,3
Необходимость соответствия современным протоколам связи	0,05	5	2	0,25	0,1
Необходимость наличия спутниковых систем связи	0,1	5	1	0,5	0,1
Влияние погодных условий на передачу сигнала по GPS-каналу	0,075	5	1	0,375	0,075
Возможность применения в различных практических задачах	0,1	5	5	0,5	0,5
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности					
Цена	0,1	3	1	0,3	0,1
Расходы по настройке и обслуживанию оборудования	0,075	2	1	0,15	0,075
Перспективность внедрения устройств на основе алгоритма на все ПС ЭЭС	0,1	4	2	0,4	0,2
Сроки внедрения на рынок	0,1	4	2	0,4	0,2
Итого	1	48	31	4,035	2,54

По результатам заполнения данной таблицы можно сказать, что показатели конкурентоспособности исследуемого алгоритма выше из-за следующих факторов:

- рассматриваемый алгоритм позволяет с высокой точностью определять параметры схемы замещения ВЛ, также как и алгоритм, основанный на векторных измерениях;

- преимуществом нового алгоритма является нежёсткая привязка к современным протоколам связи, так как это требуются в большей степени при использовании системы GPS;
- немаловажным достоинством разработки является исключение использования спутниковых систем, что значительно упрощает эксплуатацию;
- в перспективе устройства на базе нового алгоритма будут менее зависимы от состояния погоды при передаче данных с измерительных устройств;
- цена оборудования, базирующегося на новом алгоритме, по предположительной оценке может быть в несколько раз меньше по сравнению с существующими устройствами, т. к. отсутствует потребность во внедрении спутниковых систем;
- распространение на рынке устройств на основе нового алгоритма может происходить быстрее, чем уже существующего оборудования, ввиду вышеперечисленных материальных преимуществ, а также организационных причин, связанных с установкой и настройкой оборудования.

4.2. Планирование научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения научного исследования сформирована рабочая группа, в состав которой входят руководитель и инженер. За каждым видом запланированной работы закрепляется соответствующая должность исполнителя. Планирование НИ – это составление календарных планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а также трудовых и материальных ресурсов.

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка задания	1	Составление и утверждение задания	Руководитель, инженер
Выбор направления исследований	2	Определение объёма работ	Руководитель
	3	Создание плана работы, подготовка литературных источников и справочных данных	Руководитель, инженер
Исследовательская часть	4	Изучение информации о состоянии проблемы определения параметров схемы замещения ВЛ	Инженер
	5	Изучение современных устройств определения параметров схемы замещения ВЛ	Инженер
	6	Исследование метода идентификации определения параметров схемы замещения ВЛ на основе местных скалярных параметров режима	Инженер
Экспериментальная часть	7	Тестирование нового алгоритма нахождения параметров схемы замещения ВЛ	Инженер
	8	Изучение влияния погрешности измерительных трансформаторов на результаты расчёта алгоритмом	Инженер
	9	Анализ полученных результатов	Руководитель, инженер

Продолжение табл. 4.2

Оформление отчёта НИ	10	Создание пояснительной записки (ПЗ) по выполненной работе	Инженер
	11	Согласование ПС с научным руководителем	Руководитель, инженер
	12	Внесение корректировок в проект	Инженер
	13	Формирование комплекта документации по проекту	Инженер
	14	Проверка документации научным руководителем	Руководитель
	15	Сдача готового проекта	Инженер

4.2.2. Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудоёмкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости $t_{ожi}$ используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i-ой работы (чел.-дн.);

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

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

Исходя из ожидаемой трудоёмкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях $T_{\text{р}}$, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{\text{р}i} = \frac{t_{ожi}}{\text{Ч}_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы (раб. дн.);

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

Рассчитанная продолжительность работ приведена в табл. 4.3.

4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней необходимо перевести в календарные дни. Для этого необходимо используется следующая формула:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 51 - 16} = 1,225,$$

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

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

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

Полученные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki}, округляются до целого числа. Все рассчитанные показатели сведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители		Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} (чел.-дн.)	t_{max} (чел.-дн.)	$t_{ож}$ (чел.-дн.)				
Составление и утверждение задания на ВКР	2	2	2	Р	И	1	1

Продолжение табл. 4.3

Определение объёма работ	1	2	1,4	Р		1,4	2
Создание плана работы, подготовка литературных источников и справочных данных	4	8	5,6	Р	И	2,8	3
Изучение информации о состоянии проблемы определения параметров схемы замещения ВЛ	5	10	7		И	7	9
Изучение современных устройств определения параметров схемы замещения ВЛ	7	10	8,2		И	8,2	10
Исследование метода идентификации определения параметров схемы замещения ВЛ на основе местных скалярных параметров режима	7	9	7,8		И	7,8	10
Тестирование нового способа нахождения параметров схемы замещения ВЛ	8	10	8,8		И	8,8	11
Изучение влияния погрешности измерительных трансформаторов на результаты расчёта алгоритмом	5	9	6,6		И	6,6	8
Анализ полученных результатов	4	6	4,8	Р	И	2,4	3
Создание пояснительной записки (ПЗ) по выполненной работе	5	7	5,8		И	5,8	7
Согласование ПС с научным руководителем	2	4	2,8	Р	И	1,4	2
Внесение корректировок в проект	4	6	4,8		И	4,8	6
Формирование комплекта документации по проекту	5	7	5,8		И	5,8	7
Проверка документации научным руководителем	2	4	2,8	Р		2,8	3
Сдача готового проекта	1	1	1		И	1	1
Итого	62	95	75,2			67,6	83

Примечание: Р – руководитель, И – инженер

Таким образом, на основании полученных результатов можно сказать, что общая продолжительность проекта составляет 83 дня, из них 5 дней это длительность работ, выполняемых руководителем, 69 дней – инженером, 9 дней – совместная работа руководителя и инженера. На основе табл. 4.3 строится календарный план-график, представленный в табл. 4.4.

Таблица 4.4 – Календарный план-график проведения НИ

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki}, кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																			
				февраль				март				апрель				май				июнь			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Составление и утверждение задания на ВКР	Руководитель, инженер	1																				
2	Определение объёма работ	Руководитель	2																				
3	Создание плана работы, подготовка литературных источников и справочных данных	Руководитель, инженер	3																				
4	Изучение информации о состоянии проблемы определения параметров схемы замещения ВЛ	Инженер	9																				
5	Изучение современных устройств определения параметров схемы замещения ВЛ	Инженер	10																				
6	Исследование метода идентификации определения параметров схемы замещения ВЛ на основе местных скалярных параметров режима	Инженер	10																				
7	Тестирование нового способа нахождения параметров схемы замещения ВЛ	Инженер	11																				
8	Изучение влияния погрешности измерительных трансформаторов на результаты расчёта алгоритмом	Инженер	8																				
9	Анализ полученных результатов	Руководитель, инженер	3																				
10	Создание пояснительной записки (ПЗ) по выполненной работе	Инженер	7																				
11	Согласование ПС с научным руководителем	Руководитель, инженер	2																				
12	Внесение корректировок в проект	Инженер	6																				
13	Формирование комплекта документации по проекту	Инженер	7																				
14	Проверка документации научным руководителем	Руководитель	3																				
15	Сдача готового проекта	Инженер	1																				

Примечание: чёрный цвет – руководитель, серый цвет – инженер.

4.3. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета НИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НИ;
- основная заработная плата исполнителей НИ;
- дополнительная заработная плата исполнителей НИ;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- амортизация;
- накладные расходы.

4.3.1. Расчёт материальных затрат НИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта: бумага формата А4, ручки, карандаши, картриджи для чёрно-белой печати.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 – Материальные затраты НИ

Наименование	Единица Измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы $З_М$, руб.
Бумага формата А4	Лист	180	0,8	144
Ручка	шт.	6	28	168
Карандаши	шт.	6	10	60
Картридж ч/б	шт.	1	900	900
Итого:				1272

Таким образом, стоимость материальных затрат на выполнение НИ составляет 1272 рубля.

4.3.2. Амортизационные отчисления

В данном параграфе производится расчёт амортизации компьютерной техники. Для расчёта амортизации оборудования воспользуемся следующей формулой:

$$И_{ам.к.т.} = \frac{Т_{исп.к.т.}}{365} \cdot К_{к.т.} \cdot Н_{а},$$

где $Т_{исп.к.т}$ = 83 дней – время использования компьютерной техники;

365 дней – число дней в году;

$К_{к.т}$ – стоимость компьютерной техники;

$Н_{а}$ – норма амортизации:

$$Н_{а} = 1/Т_{сл.к.т.} = 1/3 = 0,333,$$

где $Т_{сл.к.т.}$ – срок службы компьютерной техники, год.

Таблица 4.6 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	$К_{к.т}$, руб.	$Т_{исп.к.т}$, дней	$И_{ам.к.т}$, руб.
Компьютер	42000	60	2230
Итого:	2230		

Таким образом, стоимость амортизационных отчислений составляет 2230 рублей.

4.3.3. Основная заработная плата исполнителей НИ

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоёмкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. Результаты расчёта основной заработной платы сведены в табл. 4.8. Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

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

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

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{р},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{р}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 4.3);

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{М} \cdot М}{F_{д}},$$

где $З_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня М = 11,2 месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней М = 10,4 месяца, 6-дневная неделя;

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 4.7).

Таблица 4.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: выходные: праздничные:	 51 16	 51 16
Потери рабочего времени: отпуск: невыходы по болезни:	 48 8	 48 12
Действительный годовой фонд рабочего времени	242	238

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{М} = З_{тс} \cdot \left(1 + k_{пр} + k_{д}\right) \cdot k_{р},$$

где $З_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2÷0,5;

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

Таблица 4.8 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$З_{м}$, руб.	$З_{дн}$, руб.	$Т_{р}$, раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель	36800	0,3	0,3	1,3	76544	3289,494	8	26315,954
Инженер	17000	0,3	0,3	1,3	35360	1545,143	59,6	92090,514
Итого:								118406,468

4.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей НИ

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей НИ учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчёт дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн},$$

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

Дополнительная заработная плата равна:

для руководителя:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 26315,954 = 3947,393 \text{ руб.};$$

для инженера:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 92090,514 = 13813,577 \text{ руб.}$$

4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

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

На основании пункта 1 ст. 58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2014 году введена ставка страховых взносов в размере 27,1 % .

Отчисления во внебюджетные фонды представлены табл. 4.9.

Таблица 4.9 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	26315,954	3947,393
Инженер	92090,514	13813,577
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого:		
Руководитель проекта	8201,367	
Инженер	28700,009	

4.3.6. Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = k_{нр} \cdot (\text{сумма предыдущих статей}),$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16 %.

$$З_{накл} = 0,16 \cdot 176570,814 = 28251,33 \text{ руб.}$$

4.3.7. Формирование бюджета затрат НИ

В данном параграфе рассчитывается суммарная величина затрат научно-исследовательской работы, которая является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Определение бюджета затрат на научное исследование приведено в табл. 4.10.

Таблица 4.10 – Бюджет затрат НИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИ	1272
2. Амортизация	2230
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	118406,468
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	17760,97
5. Отчисления во внебюджетные фонды	36901,376
6. Накладные расходы	28251,33
7. Бюджет затрат НИ	204822,144

4.4. Выводы по разделу

В данном разделе выпускной квалификационной работы представлены результаты выполнения следующих задач: создание плана выполнения работы, оценка трудоемкости работы, анализ конкурентных решений, расчёт бюджета затрат НИ.

В результате планирования получено, что данную работу выполняют 2 сотрудника: руководитель проекта и инженер. На линейном графике отображается каждый этап работы и его продолжительность в днях. Определена общая продолжительность работ, составляющая 68 рабочих дней без учёта праздничных и выходных дней. С учётом перевода этого показателя календарные дни продолжительность проекта составляет 83 календарных дня.

Стоимость затрат научного исследования составляет 204822,144 руб.

В результате анализа конкурентных решений было выявлено, что рассматриваемый алгоритм обладает большими преимуществами. Во-первых, возрастает уровень точности определения параметров схемы замещения ВЛ.

Во-вторых, с учётом возможности исключения использования высокоточных каналов связи, упрощается работа самого алгоритма. Вдобавок, это значительно снижает материальные затраты на оборудование энергосистем такими устройствами и их обслуживание. Более точные параметры одного из элементов ЭЭС, в частности ВЛ, позволяет достаточно задать параметры режима, следовательно, возможно построение модели энергосистемы, которая будет наиболее достоверно отражать реальное состояние и поведению этой энергосистемы.

По полученным результатам, можно сказать, что данная работа имеет относительно высокую значимость теоретического и практического уровня, и в то же время требуется проверка нового метода в условиях реальной работы.

РАЗДЕЛ 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Аннотация

Представление о понятии «Социальная ответственность» отображено в международном стандарте ICCSR26000:2011 «Социальная ответственность организации». В соответствии с этим стандартом социальная ответственность – это ответственность организации за воздействие её решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этичное поведение, которое:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность);
- интегрировано в деятельность всей организации и применяется во всех её взаимоотношениях (включая промышленную безопасность и условия труда, экологическую безопасность).

Введение

Объект исследования – метод идентификации параметров схемы замещения ВЛ на базе местных скалярных параметров режима.

Согласно заданию, планируется исследовать данный алгоритм, произвести его математическое моделирование, оценить результаты расчёта модели, сравнить с существующими методиками определения параметров ВЛ и проанализировать основные погрешности, влияющие на результаты расчёта. Новый алгоритм опирается на использование местных скалярных параметров режима, под которыми подразумеваются действующие фазные напряжения, активные и реактивные мощности по концам линии. 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).

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.

5.1. Профессиональная социальная безопасность

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

Согласно номенклатуре, опасные и вредные факторы по ГОСТ 12.0.003-74 делятся на следующие группы: физические; химические; психофизиологические; биологические. Перечень опасных и вредных факторов, влияющих на персонал в заданных условиях деятельности, представлен в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Перечень опасных и вредных факторов технологии производства

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
• работа с ПЭВМ; • выполнение визуальных осмотров всех устройств и оборудования до начала их использования при выполнении работ; • повышенная или пониженная влажность воздуха.	• температура воздуха рабочей зоны; • шум на рабочем месте; • влажность и скорость воздуха; • естественное и искусственное освещение; • электромагнитные поля.	• электрический ток; • пожароопасность.	• Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4-548-96; • Нормы естественного и искусственного освещения предприятий, • СНиП 23-05-95; • Допустимые уровни шумов в производственных помещениях ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ; • Гигиенические требова-

			ния к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

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.

В условиях современного интенсивного использования ЭВМ важное значение имеет изучение психофизиологических особенностей и возможностей человека с целью создания вычислительной техники, обеспечивающей максимальную производительность труда и сохранение здоровья людей. Игнорирование эргономики может привести к довольно серьёзным последствиям.

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 опас-

ности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности, согласно ПУЭ.

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

5.1.2.1. 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 $м^2$ и с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллических, плазменных) 4,5 $м^2$.

Для внутренней отделки интерьера помещений с ПЭВМ должны использоваться диффузионно-отражающие материалы с коэффициентом отражения от потолка – 0,7÷0,8; для стен – 0,5÷0,6; для пола – 0,3÷0,5.

5.1.2.2. Микроклимат

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 Iа), приведены в табл. 5.2, в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и СанПиН 2.2.4.548-96.

Таблица 5.2 – 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. 5.3.

Таблица 5.3 – 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

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.

В холодное время года предусматривается система отопления. Для отопления помещений используются водяные системы центрального отопления. При недостаточной эффективности центрального отопления должны быть использованы масляные электрические нагреватели.

Радиаторы должны устанавливаться в нишах, прикрытых деревянными или металлическими решетками. Применение таких решеток способствует также повышению электробезопасности в помещениях. При этом температура на поверхности нагревательных приборов не должна превышать 95 °С, чтобы исключить пригорание пыли.

5.1.2.3. Освещение

Освещение рабочего места – важнейший фактор создания нормальных условий труда. Освещению следует уделять особое внимание, так как при работе наибольшее напряжение получают глаза.

Освещение делится на естественное, искусственное и совмещённое, которое сочетает оба предыдущих вида. В аудитории, где расположено рабочее место инженера, используется совмещённое освещение.

Для определения приемлемого уровня освещённости в помещении необходимо:

- определить требуемый для исследователя уровень освещённости внешними источниками света;
- если требуемый уровень освещённости не приемлем для других инженеров, работающих в данном помещении, надо найти способ сохранения требуемого контраста изображения другими средствами.

Рекомендуемые соотношения яркостей в поле зрения следующие:

- между рабочими поверхностями не должно превышать 1:3 – 1:5;
- между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования – 1:10.

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы, который определяется наименьшим размером объекта различения, контрастом объекта с фоном и характеристикой фона.

Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы мониторы были ориентированы боковой стороной к световым проёмам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300÷500 лк (СНиП 23-05-95, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03). Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещённость поверхности экрана не должна быть более 300 лк. Следует ограничивать прямую блесткость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м^2. Показатель ослеплённости для источников общего искусственного освещения в производственных помещениях должен быть не более 20.

Согласно СниП 23-05-95, нормы на освещение для инженера, ведущего теоретические исследования, принимаются как для производственных помещений. Эти нормы представлены в табл. 5.4.

Таблица 5.4 – Нормы на освещение рабочего места для инженера

Характер зрительной работы	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Искусственное освещение		Коэффициент естественного освещения, %
			Освещённость при системе общего освещения, лк	Коэффициент пульсации, $К_п$, %	
Различение объектов средней точности	Б	1	300	15	1,0

Расчёт системы искусственного освещения на рабочем месте инженера-исследователя

Расчёт системы искусственного освещения проводится для прямоугольного помещения, размерами: длина А = 5 м, ширина В = 4 м, высота Н = 2,2 м, количество ламп N = 6 шт.

Вычисления будут производиться по методу светового потока, предназначенного для расчёта освещённости общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей. Согласно отраслевым нормам освещённости уровень рабочей поверхности над полом составляет 0,8 м и установлена минимальная норма освещенности Е = 300 Л).

Световой поток лампы накаливания или группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_{\text{з}} \cdot Z \cdot 100}{(n \cdot \eta)},$$

где $E_{\text{н}}$ – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, Лк;

S – площадь освещаемого помещения, м^2;

$K_{\text{з}}$ – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), (наличие в атмосфере цеха дыма), пыли;

Z – коэффициент неравномерности освещения. Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;

n – число светильников;

η - коэффициент использования светового потока,);

Φ – световой поток, излучаемый светильником.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения i, типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью h и коэффициентов отражения стен $\rho_{\text{ст}}$ и потолка $\rho_{\text{п}}$.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)}.$$

Расчётная высота подвеса светильников над рабочей поверхностью h:

$$h = H - 0{,}8 = 2{,}2 - 0{,}8 = 1{,}4 \text{ м}.$$

Экономичность осветительной установки зависит от отношения, представленного в формуле:

$$l = \frac{L}{h},$$

где L – расстояние между рядами светильников, м.

Рекомендуется размещать люминесцентные лампы параллельными рядами, принимая l = 1,4, отсюда расстояние между рядами светильников:

$$L = l \cdot h = 1,4 \cdot 1,4 = 1,96 \text{ м}.$$

Два ряда светильников будут расположены вдоль длинной стены помещения. Расстояние между двумя рядами светильников и стенами вычисляется по формуле:

$$\text{Л} = \frac{B - L}{2} = \frac{4 - 1,96}{2} = 1,02 \text{ м}.$$

Вычислим индекс помещения:

$$i = \frac{20}{1,4 \cdot (5 + 4)} = 1,587.$$

Определим коэффициенты отражения поверхностей стен, пола и потолка. Так как поверхность стен окрашена в светло-серый цвет, то коэффициент отражения поверхности стен $P_{\text{ст}}$ = 50 %. Так как поверхность потолка тоже окрашена в светлый оттенок, то коэффициент отражения поверхности потолка $P_{\text{п}}$ = 30 %.

Учитывая коэффициенты отражения поверхностей стен, потолка и индекс помещения i, определяем значение коэффициента η = 44 %.

Рассчитываем световой поток одного источника света:

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_{\text{з}} \cdot Z \cdot 100}{n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 20 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 100}{6 \cdot 44} = 3750 \text{ лм}.$$

Исходя из полученного светового потока, выбираем лампу. Наиболее подходящей является лампа ЛБР-80-1 со световым потоком 4160 лм.

Определим минимальную освещённость:

$$E = \frac{F \cdot n \cdot \eta}{S \cdot K_з \cdot Z \cdot 100} = \frac{4160 \cdot 6 \cdot 44}{20 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}1 \cdot 100} = 332{,}8 \text{ Лк}.$$

Как видно из расчёта, минимальная освещённость в пределах нормы.

5.1.2.4. Шум

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). Для уменьшения шума, проникающего снаружи помещения, следует установить уплотнения по периметру притворов дверей и окон.

ПДУ шума для объектов типа аудитории для теоретических разработок нормируются ГОСТ 12.1.003-83, СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96, СанПиН 2.2.4/2.4.1340-03. Значения ПДУ согласно этим документам представлены в табл. 5.5 (для постоянных шумов).

Таблица 5.5 – Значения ПДУ шума

Рабочее место	Уровни звукового давления (Дб) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Учебная аудитория	83	74	68	63	60	78	55	54	65

5.1.2.5. Электромагнитные излучения (ЭМИ)

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 (системный блок, дисплей).

Нормы электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ приведены в табл. 5.6 и табл. 5.7, в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Таблица 5.6 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемые ПЭВМ

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

Таблица 5.7 – Временные 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
Напряжённость электростатического поля		15 кВ/м

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.

5.1.2.6. 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).

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

5.1.2.7. Электрический ток

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.

Согласно ПУЭ, учебную аудиторию для теоретических исследований по степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности.

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 12.1.019-2009);
- использование устройств бесперебойного питания.

Технические способы и средства применяют раздельно 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.

Цель проведения инструктажа по электробезопасности – разъяснение персоналу об опасных свойствах электрического тока, мерах электробезопасности на рабочем месте, правилах оказания первой помощи пострадавшим от действия.

5.2. Экологическая безопасность

5.2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

В ходе выполнения ВКР исследуется новый алгоритм определения параметров схемы замещения ВЛ. Исходя из простых соображений, сам алгоритм особого влияния на окружающую среду не оказывает. В перспективе устройства, которые будут работать на основе этого алгоритма, 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. Сами устройства будут устанавливаться на ПС.

Стоит отметить, что данные устройства, 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.

5.2.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Процесс исследования также не оказывает существенного влияния на состояние окружающей среды, т. к. исследование нового алгоритма производится в рабочей (учебной) аудитории без применения природных ресурсов, за исключением бумажных листов, использование которых необходимо в процессе выполнения всей ВКР. В данном случае интерес представляет утилизация отходов от устаревшей оргтехники.

Каждый персональный компьютер содержит на только ценные цветные металлы, но и много веществ, опасных для окружающей среды. Это производные газов, тяжелые металлы, среди которых кадмий, ртуть и свинец. При попадании на свалку, все эти вещества под воздействием внешней среды постепенно проникают в почву, отравляют воздух и воду. Также в процессе утилизации из техники извлекаются и материалы, которые могут быть использованы для вторичной переработки. Составляющие каждого персонального компьютера содержат:

- ценные металлы – золото, серебро, платина, палладий;
- черные и цветные металлы – алюминий, медь, железо;
- стекло и полимерные материалы.

Устаревшая техника поступает на предприятие, имеющее право на переработку компьютеров. Благодаря применяемым технологиям по очистке составляющих компонентов из компьютерной техники можно выделить дра-

гоценные 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.

5.2.3. 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, а 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.

5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Так как в работе осуществляется теоретическое исследование алгоритма, то как таковых ЧС данный объект не должен инициировать.

5.3.2. 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.

В соответствии с следующими документами: N 301-ФЗ, СП 12.13130.2009, Нормы пожарной безопасности НПБ 105-03, по взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1

- В4, Г и Д. Данное рабочее место инженера относится к группе Д, т. е. к помещениям с пониженной пожароопасностью.

5.3.3. 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. В соответствии с Правилами противопожарного режима в РФ от 25 апреля 2012 г. №390 для помещений категории Д рекомендуется устанавливать ручные огнетушители так, чтобы расстояние между устройством и возможным очагом возгорания не превышало 70 м. Также этот документ гласит, что помещения с присвоенной категорией пожарной опасности Д не требуется

оснащать огнетушителями, если его площадь менее 100 м^2. На каждом этаже здания должно размещаться минимум два ручных огнетушителя.

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 по п. 3.14 ГОСТ Р 12.2.143-2002.

Согласно Правилам пожарной безопасности в Российской Федерации ППБ 01-2003 (п. 16), в зданиях и сооружениях (кроме жилых домов) при единовременном 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.

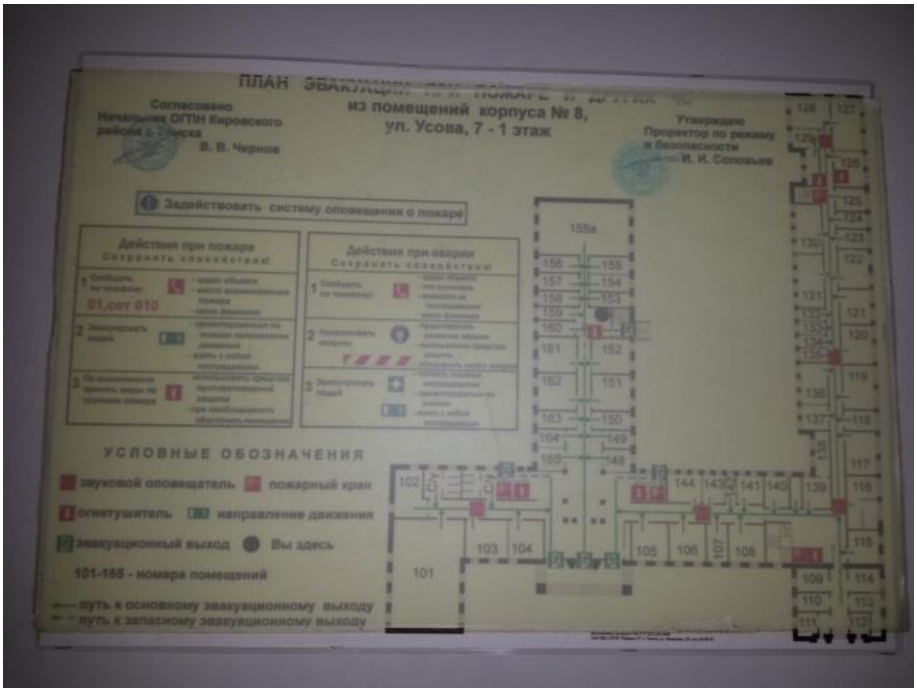


Рисунок 5.1 – План эвакуации при пожаре

5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

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

Нормы трудового права – это правила трудовых отношений, установленные или санкционированные государством посредством законодательных актов.

Нормы трудового права регулируют любые отношения, связанные с использованием личного труда. Формы их реализации разнообразны:

- трудовые отношения;
- организация труда и управление им;
- трудоустройство работников;
- социальное партнёрство, коллективные отношения;
- содействие занятости безработных лиц;
- организация профессиональной подготовки и повышения квалификации;
- обеспечение мер по охране труда граждан;
- осуществление контроля и надзора за соблюдением законодательства;
- отношения взаимной материальной ответственности работника и работодателя;
- защита прав и интересов работодателей.

5.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Проектирование рабочих мест, снабжённых видеомониторами, относится к числу важных проблем эргономического проектирования в области вычислительной техники.

Организация рабочего места разработчика регламентируется следующими нормативными документами: ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ, ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ, СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и рядом других.

Эргономическими аспектами проектирования рассматриваемых рабочих мест являются: высота рабочей поверхности, размеры пространства для

ног, требования к расположению документов на рабочем столе, характеристики рабочего кресла, требования к поверхности рабочего стола, регулируемость элементов рабочего места.

Главными элементами рабочего места разработчика являются стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя.

Рациональная планировка рабочего места предусматривает чёткий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне лёгкой досягаемости рабочего пространства.

Моторное поле – пространство рабочего места, в котором могут осуществляться двигательные действия человека.

Максимальная зона досягаемости рук – это часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми максимально вытянутыми руками при движении их в плечевом суставе.

Оптимальная зона – часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми предплечьями при движении в локтевых суставах с опорой в точке локтя и с относительно неподвижным плечом.

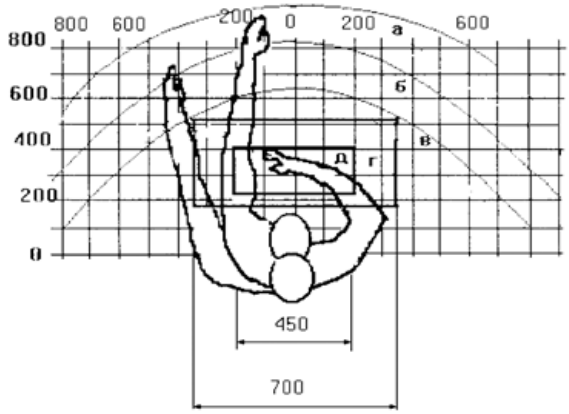


Рисунок 5.2 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости:
а – зона максимальной досягаемости; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости:

- дисплей размещается в зоне "а" (в центре);
- системный блок размещается в предусмотренной нише стола;
- клавиатура – в зоне "г"/"д";
- манипулятор "мышь" – в зоне "в" справа;
- документация: необходимая при работе – в зоне легкой досягаемости ладони – "в", а в выдвижных ящиках стола – литература, неиспользуемая постоянно.

Для комфортной работы стол должен удовлетворять следующим условиям:

- высота стола должна быть выбрана с учётом возможности сидеть свободно, в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники;
- нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы инженер мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;
- поверхность стола должна обладать свойствами, исключающими появление бликов в поле зрения программиста;
- конструкция стола должна предусматривать наличие выдвижных ящиков (не менее 3 для хранения документации, листингов, канцелярских принадлежностей);
- высота рабочей поверхности рекомендуется в пределах 680÷760 мм. Высота поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть около 650 мм.

Большое значение придается характеристикам рабочего кресла. Рабочее кресло должен быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также регулируемым по расстоянию спинки от переднего края сиденья. Конструкция стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закруглённым передним краем;

- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400÷550 мм и углов наклона вперед до 15° и назад до 5°;
- высоту опорной поверхности спинки 300±20 мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости – 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах 0 ± 30°;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260-400 мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной – 50÷70 мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230±30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350÷500 мм.

Поверхности сиденья, спинки и других элементов кресла должны быть полумягкими с нескользящим, неэлектризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим лёгкую очистку от загрязнения.

Кресло следует устанавливать на такой высоте, чтобы не чувствовалось давления на копчик (это может быть при низком расположении кресла) или на бедра (при слишком высоком).

Необходимо предусматривать при проектировании возможность различного размещения документов: сбоку от монитора, между монитором и клавиатурой и т. п. Кроме того, в случаях, когда дисплей имеет низкое качество изображения, например, заметны мелькания, расстояние от глаз до экрана делают больше (около 700 мм), чем расстояние от глаза до документа (300÷450 мм). При высоком качестве изображения на дисплее расстояние от глаз пользователя до экрана, документа и клавиатуры может быть равным.

Положение экрана определяется:

- расстоянием считывания (0,6÷0,7 м);
- углом считывания, направлением взгляда на 20° ниже горизонтали к центру экрана, причём экран перпендикулярен этому направлению.

Должна также предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от -10° до +20° относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Создание благоприятных условий труда и правильное эстетическое оформление рабочих мест имеет большое значение как для облегчения труда, так и для повышения его привлекательности, положительно влияющей на производительность труда.

5.5. Выводы по разделу

В пятом 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 электрический ток. 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 может быть реализован исследованный алгоритм, 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 течение некоторого времени и затем анализ полученных результатов. 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 исследован метод идентификации параметров схемы замещения ВЛ, основанный на результатах измерения местных скалярных параметров режима.

Выдвижение концепции исследуемого метода обусловлено тем, что в практической деятельности принято использовать справочные данные для нахождения параметров ВЛ. Это приводит к значительным погрешностям во всех расчётах, где используется параметры СЗ ВЛ. Для каждого параметра величина погрешности может варьироваться в достаточно широких диапазонах. Это связано с тем, что табличные данные не учитывают реальных условий эксплуатации ВЛ, режимных и метеоусловий. Проанализировав существующие методы вычисления параметров ВЛ, можно сказать, что всё более широкую известность получают синхронизированные измерения. Они основаны на одновременном измерении таких параметров режима, как модули напряжения и тока по концам линии, а так же их фазовые углы. При использовании определённых соотношений между параметрами режима находят характеристики СЗ ВЛ. Как выяснено, данный метод весьма результативен, но только тогда, когда имеется точная синхронизация измерений режимных параметров. Незначительные отклонения фазовых углов приводит к существенной погрешности расчёта параметров ВЛ. Учитывая это, а также некоторые другие недостатки этого метода, в данной работе выдвигается концепция алгоритма, не имеющего данные слабости.

Во втором разделе ВКР приведено математическое описание алгоритма. Специфика его заключается в решении системы уравнений, использующей параметры двух установившихся режимов, причём разных. Если брать одинаковые режимы, то есть их параметры, то одно из уравнений превратится в тождество, и система не решится. Поэтому в данном разделе исследуется вопрос выбора второго режима. Выяснено, что даже при несущественной разнице в параметрах обоих режимов исследуемый алгоритм достаточно точно определяет характеристики СЗ ВЛ. Если второму режиму соответству-

ет схема замещения с изменёнными параметрами, вызванными влиянием погоды, то необходимо выбирать второй режим так, чтобы эти вторые параметры СЗ ВЛ отличались от первых не существенно, то есть чтобы соответствовали примерно одним и тем же погодным условиям.

Также в работе решена задача изучения влияния погрешности измерительных трансформаторов. Исходя из полученных графических зависимостей, становится очевидно, что при классах точности до 0,5 погрешности расчёта параметров ВЛ являются приемлемыми. При более низких классах точности погрешности получаются сопоставимыми с теми, которые обуславливаются справочными данными. В этом случае пригодность к практическому применению всех методов идентификации параметров ВЛ, основанных на измерении режимных величин, существенно снижается. Но в условиях развивающихся технологий измерительных устройств эта проблема постепенно разрешается.

В целом исследуемый алгоритм показал свою эффективность при расчёте параметров схемы замещения ВЛ. Простота его структуры обусловлена использованием только тех устройств, которые установлены по концам каждой линии (на подстанциях), а именно: трансформаторы тока, напряжения, ваттметры и варметры. Это исключает необходимость использования какого-либо дополнительного оборудования. Поэтому можно заявить, что метод на базе скалярных параметров режима весьма пригоден для дальнейшего развития и практической реализации.

Список литературы

1. Алюнов А. Н. Идентификация параметров схемы замещения электрическим систем по данным регистраторов аварийных процессов. – Автореф. дис. на соискание уч. степени кан. техн. наук. – Вологда, 2004. – С. 1-4.

2. Дехтерев А. И. Идентификация модели и контроль устойчивости ЭЭС по данным синхронизированных измерений. – Автореф. дис. на соискание уч. степени кан. техн. наук. – Новосибирск, 2011. – С. 3-4.

3. http://www.enip2.energoportal.ru/enip-2-s-podderzhkoj-sinhronizirovannyh-vektornyh-izmerenij-usvi-pmu-53341/ (Дата обращения: 19.04.17)

4. http://www/fsk-ees/ru/upload/docs/6_2016_Pril_8_Spisok_tem_dlya_nauch_dipl_i_dissert_rabot.pdf Дата обращения: 20.04.17

5. Джумик Д. В. Определение параметров схем замещения линий электропередачи, силовых конденсаторов и резисторов, реакторов по массивам мгновенных значений токов и напряжений в рабочих режимах. – Автореф. дис. на соискание уч. степени кан. техн. наук. – Томск, 2008. – С. 14-17.

6. Лыкин, Анатолий Владимирович. Электрические системы и сети : учебное пособие для вузов / А. В. Лыкин. — Москва: Логос, 2008. — 254 с.

7. Абрамочкина Л. В. Повышение точности определения места повреждения воздушных линий электропередачи по параметрам предаварийного и аварийного режимов. – Диссертация на соискание уч. степени кан. техн. наук. – Томск, 2014. – 167 с.

8. Осипчук В. В. Исследование влияния погрешностей синхронизации измерений параметров режима на точность определения места повреждения линий электропередачи. – Магистерская диссертация. – Томск, 2014. – 155 с.

9. Небера А. А. Прикладные вопросы применения векторных измерений параметров электрического режима // Современные направления развития систем релей и автоматики энергосистем: Международная научно-практическая конференция - Санкт-Петербург, 30 мая – 3 июня 2011 г. – 8 с.

10. http://www.elektro-journal.ru/sites/default/files/pdf_files/arts/2001_01_04.pdf (дата обращения – 26. 05.17).