



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

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|---|
| Моделирование электрической нагрузки в установившихся и переходных режимах |

УДК: 621.311.016.31

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 5А6Г | Генералов Алексей Юрьевич | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------|-------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЭЭ ИШЭ | Бацева Н.Л. | к. т. н., доцент | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------|------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ШИП | Подопригора Игнат Валерьевич | к.э.н., доцент | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент ООД ШБИП | Мезенцева Ирина Леонидовна | | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--|----------------|------------------------|---------|------|
| 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника | Шестакова В.В. | к.т.н., доцент | | |

Томск – 2020 г.

Планируемые результаты обучения по ООП «Электроэнергетика»

| Код результата | Результат обучения (выпускник должен быть готов) | Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон |
|-------------------------------------|--|--|
| <i>Универсальные компетенции</i> | | |
| P1 | <i>Совершенствовать</i> и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности. | Требования ФГОС (ОК-1, 3; ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i> |
| P2 | <i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности. | Требования ФГОС (ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i> |
| P3 | <i>Использовать</i> на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности. | Требования ФГОС (ОК-2, 3; ОПК-1; ПК-1, 2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i> |
| P4 | <i>Использовать</i> представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию. | Требования ФГОС (ОК-3; ОПК-1, 4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i> |
| <i>Профессиональные компетенции</i> | | |
| P5 | <i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности, связанной с автоматизированными системами диспетчерского управления в электроэнергетике. | Требования ФГОС (ОПК-4; ПК-4-6) ¹ , Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i> |
| P6 | Ставить и <i>решать инновационные задачи</i> инженерного анализа при проектировании, эксплуатации и обслуживании автоматизированных систем диспетчерского управления электроэнергетических систем с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности. | Требования ФГОС (ПК-1, 7,8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i> |
| P7 | Выполнять инновационные <i>инженерные проекты</i> по разработке аппаратных и программных средств автоматизированных систем диспетчерского управления электроэнергетических систем с использованием современных методов проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных систем. | Требования ФГОС (ПК-2, 9, 10, 11). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI, работодателей</i> |
| P8 | Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области автоматизированных систем управления электроэнергетических систем, включая критический | Требования ФГОС (ПК-3, 13, 14, 15, 24-26). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями |

¹ Указаны коды компетенций по ФГОС (направление 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника), утвержденному Приказом Министерства образования и науки РФ № 1500 от 21.11.2014 г.

| Код результата | Результат обучения (выпускник должен быть готов) | Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон |
|----------------|---|---|
| | анализ данных из мировых информационных ресурсов. | международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> . |
| P9 | Проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; осуществлять профессиональную деятельность руководствуясь требованиями стандартов и рынка; разрабатывать планы и программы организации профессиональной деятельности на предприятии; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса. | Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 16-20, 24, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i> |
| P10 | Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные</i> , наладочные работы оборудования и программного обеспечения по профилю профессиональной деятельности. | Требования ФГОС (ПК-22, 23, 25, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i> |
| P11 | <i>Осваивать новое оборудование и программное обеспечение в сфере автоматизации диспетчерского управления</i> ; проверять техническое состояние и остаточный ресурс эксплуатируемых программно-технических комплексов и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт. | Требования ФГОС (ПК-27, 28), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i> |
| P12 | Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы. | Требования ФГОС (ПК-29, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i> |

| | |
|--|---|
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ литературных источников и нормативной документации по теме исследования. 2. Расчёт и моделирование энергосистемы в программном комплексе RarWin3. Разработка алгоритма работы АУОПЭЭ. 3. Расчет переходного процесса на анализ динамической устойчивости с заданием различных моделей нагрузки в расширении RusTAB. 4. Заключение по работе. |
| <p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <p>Графическая схема электрических соединений части энергосистемы Сахалинской области</p> |
| <p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p> | |
| <p>Раздел</p> | <p>Консультант</p> |
| <p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> | <p>к.э.н., доцент Игнат Валерьевич Подопригора</p> |
| <p>Социальная ответственность</p> | <p>ассистент Мезенцева И. Л.</p> |
| <p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: нет</p> | |

| | |
|--|----------------------|
| <p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p> | <p>17.02.2020 г.</p> |
|--|----------------------|

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------|-------------|------------------------|---------|---------------|
| Доцент ОЭЭ ИШЭ | Бацева Н.Л. | к. т. н., доцент | | 17.02.2020 г. |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------|---------|---------------|
| 5А6Г | Генералов А.Ю. | | 17.02.2020 г. |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | |
|--------|-----------------------------|
| Группа | ФИО |
| 5А6Г | Генералову Алексею Юрьевичу |

| | | | |
|---------------------|--------------------------------|---------------------------|---|
| Школа | Инженерная школа энергетики | Отделение (НОЦ) | Электроэнергетики и электротехники |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» |

Тема ВКР:

| | |
|---|---|
| Разработка принципов построения автоматического устройства оптимизации потерь электрической энергии в электрических сетях | |
| Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: | |
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | Объектом исследования является часть энергосистемы Сахалинской области |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| 1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | <ul style="list-style-type: none"> – Федеральный закон «О персональных данных» – Трудовой кодекс РФ – СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах – ГОСТ Р 50948-2001 «Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности» |
| 2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия | <ul style="list-style-type: none"> – недостаточная освещенность рабочей зоны; – отклонение показателей микроклимата; – превышение уровня шума. |
| 3. Экологическая безопасность: | <ul style="list-style-type: none"> – отходы в виде устаревшей техники и использованной бумаги. |
| 4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: | Возможные чрезвычайные ситуации: возгорание ЭВМ и электрической проводки. К наиболее вероятным чрезвычайным ситуациям относятся пожары |

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

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент ООД | Мезенцева И.Л. | | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 5А6Г | Генералов Алексей Юрьевич | | |

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение электроэнергетики и электротехники
 Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

| | |
|--|---------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 05.06.2020 г. |
|--|---------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 21.03.2020 | Описание предметной области и задач исследования | 15% |
| 15.04.2020 | Моделирование энергосистемы в ПК RatrWin3 | 35% |
| 29.05.2020 | Расчет переходных режимов с заданием различных моделей нагрузки в расширении RusTAV | 30% |
| 1.06.2020 | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 10% |
| 4.06.2020 | Социальная ответственность | 10% |
| 17.06.2020 | Оформленная пояснительная записка | 100% |

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------|-------------|------------------------|---------|---------------|
| Доцент ОЭЭ ИШЭ | Бацева Н.Л. | к. т. н., доцент | | 17.02.2020 г. |

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--|----------------|------------------------|---------|---------------|
| 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника | Шестакова В.В. | к.т.н., доцент | | 17.02.2020 г. |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 74 страницы, 20 рисунков, 24 таблицы, 16 использованных источников, 1 приложение.

Ключевые слова: модель нагрузки, статические и динамические характеристики, модель энергосистемы, установившийся режим, переходный процесс, предельное время отключения.

Объектом исследования является энергосистема Сахалинской области. Предметом исследования является модель нагрузки задаваемая при анализе динамической устойчивости.

Цель работы – установление зависимости критического времени отключения короткого замыкания от модели нагрузки.

Актуальность работы: анализ динамической устойчивости энергосистемы является необходимым при разработке программ развития или реконструкции, а значит его точность определяет легитимность использования текущего силового оборудования и/или уставок автоматики и систем релейной защиты. Учет динамических характеристик нагрузки должен увеличить точность этого анализа, а значит позволить избежать излишних аварий или финансовых убытков.

Новизна исследования состоит в моделировании нагрузки с использованием динамических характеристик, которые в текущее время плохо изучены и практически не используются при расчетах.

В процессе исследования использовались общенаучные методы сбора информации.

В результате исследования было установлено, что динамические характеристики нагрузки оказывают значительное влияние на результаты моделирования переходных процессов при анализе динамической устойчивости.

Сокращения, обозначения

ЭЭС – электроэнергетическая система;

ОЭС – объединенная энергосистема;

ЕЭС – единая энергосистема;

ДУ – динамическая устойчивость;

ГРЭС – городская районная электростанция;

ПК – программный комплекс;

АТ – автотрансформатор;

Т – трансформатор;

ЛЭП – линия электропередач;

ПС – подстанция;

ВЛ – воздушная линия;

РЗ – релейная защита;

ГОСТ – государственный стандарт;

ДХН – динамические характеристики нагрузки;

СХН – статические характеристики нагрузки.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение | 13 |
| Раздел 1 - Формирование расчетной модели электрической сети | 14 |
| 1.1 Анализ Сахалинской энергосистемы | 14 |
| 1.1.1 Текущее состояние электрических сетей Сахалинской энергосистемы | 14 |
| 1.1.2 Генерирующие мощности энергосистемы Сахалинской области .. | 15 |
| 1.2 Создание модели нагрузки в ПК RatrWin3 | 16 |
| 1.2.1 Формирование модели нагрузки постоянными мощностями | 17 |
| 1.2.2 Формирование модели нагрузки статическими характеристиками нагрузки | 17 |
| 1.2.3 Формирование модели нагрузки динамическими характеристиками нагрузки | 21 |
| 1.3 Исходные данные для построения расчётной модели | 30 |
| 1.4 Заключение по разделу | 33 |
| Раздел 2 - Определение зависимости предельного времени отключения короткого замыкания от модели электрической нагрузки | 34 |
| 2.1 Скорость изменения угла ЭДС при моделировании электрической нагрузки постоянными мощностями | 35 |
| 2.2 Скорость изменения угла ЭДС при моделировании электрической нагрузки постоянным током | 36 |
| 2.3 Скорость изменения угла ЭДС при моделировании электрической нагрузки постоянным сопротивлением | 37 |

| | | |
|--|---|----|
| 2.4 | Скорость изменения угла ЭДС при моделировании электрической нагрузки типовыми СХН | 38 |
| 2.5 | Скорость изменения угла ЭДС при моделировании электрической нагрузки динамическими характеристиками | 39 |
| 2.6 | Заключение по разделу | 41 |
| Раздел 3 – Финансовый менеджмент | | 42 |
| 3.1 | Введение | 42 |
| 3.2 | Анализ конкурентных технических решений..... | 42 |
| 3.3 | SWOT анализ | 44 |
| 3.4 | Формирование плана и графика разработки..... | 45 |
| 3.5 | Формирование бюджета | 50 |
| 3.6 | Определение эффективности научного исследования | 54 |
| 3.7 | Выводы по разделу..... | 56 |

Введение

Электроэнергетика является базовой отраслью промышленности России. Развитие электросетевого хозяйства также обеспечивает и развитие экономики. На сегодняшний день, одной из приоритетных задач, решаемых в рамках ЕЭС России, является сохранение непрерывной передачи электроэнергии.

В то же время, перебои в электроснабжении связаны с возникновением аварий на объектах электросетевого хозяйства. Если полностью избежать аварий невозможно, то требуется максимально сократить длительность паузы в передаче электроэнергии при их возникновении. Расчеты при анализе устойчивости энергосистемы направлены на определение как максимально допустимых перетоков в контролируемом сечении, так и схемно-режимных параметров при которых будет работать вся энергосистема.

В частности, анализ динамической устойчивости также включен в список критериев, определяющих МДП. При этом, в качестве моделей нагрузки, пользуются как статическими характеристиками нагрузки, так и постоянными мощностями нагрузки, которые способны обеспечить достаточную точность расчетов. Более того, учет динамических характеристик при анализе ДУ может обеспечить увеличение точности расчетов, поскольку они позволяют получить представление о поведении двигательной нагрузки при возникновении нормативных возмущений.

Раздел 1 - Формирование расчетной модели электрической сети

1.1 Анализ Сахалинской энергосистемы

1.1.1 Текущее состояние электрических сетей Сахалинской энергосистемы

Сахалинская область расположена на восточной границе России и входит в Дальневосточный федеральный округ (ДФО). Территория Сахалинской области полностью расположена на островах, крупнейший из которых – Сахалин.

Сегодняшнее состояние электроэнергетики Сахалинской области с учетом территориальных особенностей региона и большой территории обслуживания электрических сетей при малом электропотреблении в сельской местности охарактеризована:

- территориальной изолированностью и большим числом децентрализованных энергорайонов;
- эксплуатацией электросетевого хозяйства в трудных климатических условиях и в зонах повышенной сейсмичности, что оказывает серьезное влияние на состоянии оборудования и ведет к ускоренному износу.

Особенностью энергосистемы Сахалинской области также является её изолированная работа от Единой национальной электрической системы России (ОАО "РАО ЭС Востока") и разделение на отдельные автономные энергорайоны внутри самой области:

- Центральный энергорайон – снабжает южной и центральной частями о. Сахалин;
- Северный энергорайон (Охинский энергоузел) – обеспечивает электроснабжение Охинского района;
- Новиковский энергоузел – снабжает электроэнергией п. Новиково-Корсаковского района;

- изолированные энергорайоны на Курильских островах и отдаленные населенные пункты ряда муниципальных образований о. Сахалин.

1.1.2 Генерирующие мощности энергосистемы Сахалинской области

Основными генерирующими мощностями Сахалинской области являются:

- в «Центральном энергорайоне»: Южно-Сахалинская ТЭЦ-1 и Сахалинская ГРЭС, входящие в состав ПАО «Сахалинэнерго»; «Ногликская газовая электростанция», входящая в состав ОАО «Ногликская газовая электростанция»;
- в «Северном энергорайоне»: «Охинская ТЭЦ», входящая в состав АО «Охинская ТЭЦ» также является единственным предприятием, обеспечивающим выработку и сбыт электроэнергии для нужд населенных пунктов.

Данные по установленной мощности электростанций приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Установленная мощность электростанций

| № | Наименование электростанции | Установленная мощность, МВт |
|---|--|-----------------------------|
| 1 | Южно-Сахалинская ТЭЦ-1 | 455,24 |
| 2 | Сахалинская ГРЭС | 84 |
| 3 | Ногликская ГЭС | 48 |
| 4 | Охинская ТЭЦ | 99 |
| | Суммарная установленная мощность станций | 686,24 |

В работе рассмотрен энергорайон, в котором центром питания является ЮС ТЭЦ-1. Электростанция обеспечивает снабжение всего юга района, поддерживает устойчивый режим работы в энергосистеме, а также дает тепло потребителям города.

Основными трудностями в эксплуатации оборудования Сахалинской области являются:

- Сахалинская ГРЭС: электростанция часто эксплуатировалась в пиковом режиме с ежедневными пусками и остановами, а значит

парковый ресурс турбоагрегатов исчерпан по числу пусков. В соответствии с СИПР 2015-2019 для решения этой проблемы начато строительство Сахалинской ГРЭС-2;

- Южно-Сахалинская ТЭЦ-1: парковый ресурс турбоагрегатов был исчерпан по часам наработки оборудования, т.к. электростанция эксплуатируется в базовом режиме работы;
- Ноглинская ГЭС: в связи с наработкой станцией свыше паркового ресурса газотурбинные двигатели подвержены сильному износу;
- Большой износ ЛЭП 0,4-6 кВ, достигающий 90%;
- Отсутствие регулировки аппаратов защиты при местных условиях эксплуатации ЛЭП на введенных и вновь вводимых в эксплуатацию ДГ, что ведет к частым остановкам ДЭС «Южно-Курильская» и соответствующему отключению потребителей.

1.2 Создание модели нагрузки в ПК RatrWin3

Расчетная модель содержит следующую совокупность данных:

- схему замещения электрических связей, отражающей топологию электрической сети и параметры ее элементов;
- параметры и режимы потребления активной и реактивной мощности;
- параметры и режимы работы генерирующего оборудования и средств компенсации реактивной мощности;
- системные условия;
- диапазоны номеров узлов для каждой из энергосистем;
- номера узлов, по которым происходит объединение расчетных электрических схем.

В работе для проведения расчетов и анализа установившегося режима (УР) используется программный комплекс (ПК) RastrWin3, для моделирования схемно-режимной ситуации и оценки динамики используется ПК RUSTab.

1.2.1 Формирование модели нагрузки постоянными мощностями

ПК RatrWin3 имеет широкий набор возможностей для задание электрической нагрузки. При задании постоянными мощностями нагрузки, формируется узел нагрузки. Минимальная необходимая информация для каждого узла это его номер (Номер) и номинальное напряжение ($U_{ном}$). Для узлов нагрузки также необходимо дополнительно задать активную и реактивную мощность потребления (P_H, Q_H).

1.2.2 Формирование модели нагрузки статическими характеристиками нагрузки

Задание нагрузки постоянной активной и реактивной мощностями $P=const, Q=const$ является лишь одним из возможных вариантов. В зависимости от характера потребителя различают следующие способы задания нагрузки:

1. Постоянным сопротивлением шунта $R = const, X = const$. В этом случае мощность является квадратичной функцией от напряжения, и эта зависимость имеет следующий вид:

$$P(V) = \frac{V^2}{R}, \quad Q(V) = \frac{V^2}{X}; \quad (1)$$

2. Постоянным током $I=const$, при этом мощность является линейной функцией от напряжения:

$$P(V) = V \cdot I', \quad Q(V) = V \cdot I''. \quad (2)$$

Все эти варианты задания нагрузки собраны в статической характеристике нагрузки по напряжению (СХН), имеющей следующий вид:

$$P(V, \Delta f) = P_{ном} \left[a_0 + a_1 \left(\frac{V}{V_{ном}} \right) + a_2 \left(\frac{V}{V_{ном}} \right)^2 + K^P \Delta f^{o.e.} \right]; \quad (3)$$

$$Q(V, \Delta f) = Q_{ном} \left[b_0 + b_1 \left(\frac{V}{V_{ном}} \right) + b_2 \left(\frac{V}{V_{ном}} \right)^2 + K^Q \Delta f^{o.e.} \right], \quad (4)$$

где $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ – коэффициенты полиномов СХН по активной и реактивной мощностям; условия $P = P_{ном}, Q = Q_{ном}$ при $V = V_{ном}$ выполняются, если $a_0 + a_1 + a_2 = 1$ и $b_0 + b_1 + b_2 = 1$. Нагрузка в обобщенной характеристике также соответствует:

$a_0 = 0, a_1 = 0, a_2 = 1, b_0 = 0, b_1 = 1, b_2 = 0$ - постоянные сопротивления;

$a_0 = 0, a_1 = 1, a_2 = 0, b_0 = 0, b_1 = 1, b_2 = 0$ - постоянный ток;

$a_0 = 1, a_1 = 0, a_2 = 1, b_0 = 1, b_1 = 1, b_2 = 0$ - постоянная мощность.

Любые комбинации перечисленных способов задания нагрузки (рис. 1) соответствуют СХН со своими наборами коэффициентов.

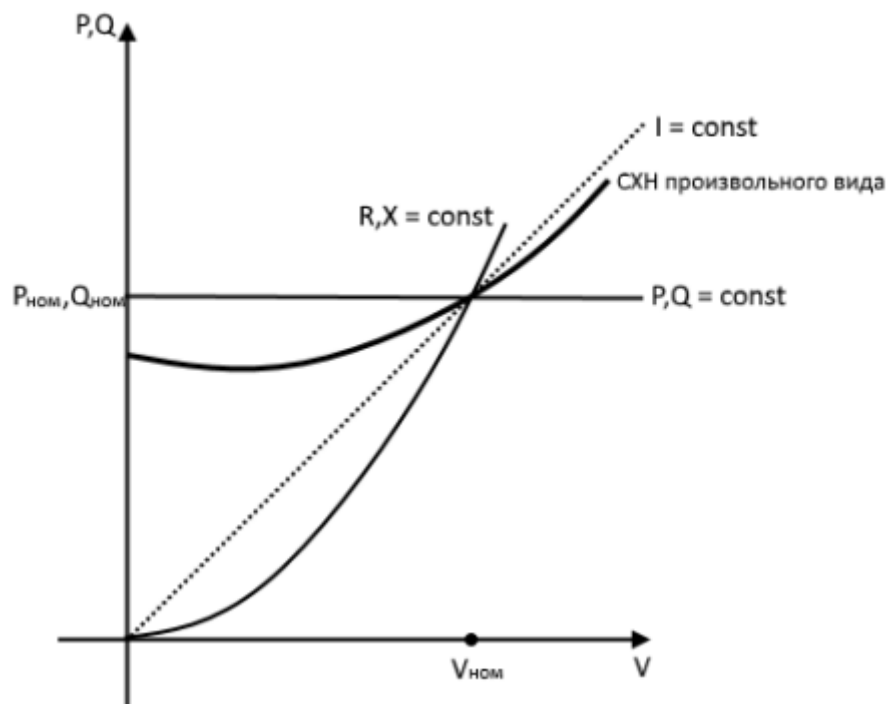


Рисунок 1 – Статические характеристики

Статические характеристики также учитывают изменение частоты (при задании соответствующей опции в расчете режима) по отклонению частоты от номинальной:

$$\Delta f^{o.e.} = \frac{f - f_{ном}}{f_{ном}}. \quad (5)$$

При работе в ПК RastrWin3 статические характеристики нагрузки задаются следующим образом:

- 1) в графе, таблицы «Узлы» задается номинальная мощность. Для изменения номера статической характеристики необходимо активировать команду «Прямой ввод кода» в контекстном меню заголовка столбца $N_{СХН}$;

| | Тип | Номер | Название | U_н | .. | P_н | Q_н | P_г | Q_г | U_зд | Q_min | Q_max | U_min | U_max | В_ш | V |
|---|------|-------|----------|-----|----|-------|-------|---------|--------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|--------|
| 1 | База | 805 | ШАГОП | 500 | 7 | 7 | | 3 535,5 | -227,1 | 500,0 | | | 450 | 525 | | 500,00 |
| 2 | Ген | 1 | СГРЭС-1 | 520 | 3 | 72,0 | 721,0 | 2 000,0 | 669,6 | 520,0 | 0,0 | 750,0 | 450 | 525 | 1 306,0 | 520,00 |
| 3 | Ген | 4 | ИРТ | 520 | 4 | 654,5 | 168,5 | 510,0 | | 520,0 | | 380,0 | 450 | 525 | 653,0 | 533,19 |
| 4 | Ген | 11 | СГРЭС-2 | 520 | 1 | 16,0 | 96,0 | 3 200,0 | | 520,0 | | 1 400,0 | 450 | 525 | 1 306,0 | 526,18 |
| 5 | Ген | 21 | НВТГРЭС | 520 | 7 | 18,0 | 48,0 | 1 605,3 | 35,2 | 520,0 | | 800,0 | 450 | 525 | | 520,00 |
| 6 | Ген | 29 | СГРЭС-2 | 520 | 7 | 96,0 | 96,0 | 2 398,4 | | 520,0 | | 1 400,0 | 450 | 525 | 1 306,0 | 528,51 |

Рисунок 2 – Задание номеров СХН в таблице «Узлы»

- 2) в графе «СХН» задается номер статической характеристики. Каждый набор коэффициентов соответствует своему номеру;
- 3) в таблице «Полиномы» задаются коэффициенты, соответствующие номерам статических характеристик.

| | Номер СХН | P0 | P1 | P2 | Frec P | Q0 | Q1 | Q2 | Frec Q |
|---|-----------|-------|----|-------|--------|-------|----|-------|--------|
| 1 | 3 | 1,000 | | | 1,100 | | | 1,000 | -1,500 |
| 2 | 4 | | | 1,000 | | | | 1,000 | |
| 3 | 5 | | | | | | | | |
| 4 | 6 | 1,000 | | | 1,100 | 1,000 | | | -1,500 |

Рисунок 3 – Таблица коэффициентов СХН

В таблице «Узлы-СХН» показывается величина отклонения значения мощностей от исходных при расчете режима:

| Номер | Название | .. | U_ном | V | P_н | Pн_расч | Pн_расч-P_н | Q_н | Qн_расч | Qн_расч-Q_н |
|-------|----------|----|-------|--------|-------|---------|-------------|-------|---------|-------------|
| 1 | СГРЭС-1 | 3 | 520 | 520,00 | 72,0 | 72 | | 721,0 | 721 | |
| 2 | ИРТ | 4 | 520 | 533,19 | 654,5 | 688 | 33,63 | 168,5 | 177 | 8,66 |
| 3 | СГРЭС-2 | 1 | 520 | 526,18 | 16,0 | 16 | 0,12 | 96,0 | 98 | 1,88 |

Рисунок 4 – Таблица «Узлы-СХН» (анализ отклонения мощностей)

Коэффициенты СХН не задаются для СХН с номерами 1 и 2, так как они являются типовыми и их значения уже «защиты» в ПК.

Алгебраические зависимости типовой СХН 1 имеет следующий вид:

$$P(V) = P_{ном} \left[0,83 - 0,3 \left(\frac{V}{V_{ном}} \right) + 0,47 \left(\frac{V}{V_{ном}} \right)^2 + 1,1 \Delta f^{o.e.} \right] \quad (6)$$

$$Q(V) = Q_{ном} \begin{cases} \left[3,7 - 7 \left(\frac{V}{V_{ном}} \right) + 4,3 \left(\frac{V}{V_{ном}} \right)^2 - 1,5 \Delta f^{o.e.} \right], & \text{если } 0,815 \leq \left(\frac{V}{V_{ном}} \right) \leq 1,2 \\ \left[0,721 + 0,158 \left(\frac{V}{V_{ном}} \right) - 1,5 \Delta f^{o.e.} \right], & \text{если } \left(\frac{V}{V_{ном}} \right) < 0,815 \\ \left[1,49 - 1,5 \Delta f^{o.e.} \right], & \text{если } \left(\frac{V}{V_{ном}} \right) > 1,2 \end{cases} \quad (7)$$

Также, зависимости типовой СХН 2 представлены формулами ниже:

$$P(V) = P_{ном} \left[0,83 - 0,3 \left(\frac{V}{V_{ном}} \right) + 0,47 \left(\frac{V}{V_{ном}} \right)^2 + 1,1 \Delta f^{o.e.} \right] \quad (8)$$

$$Q(V) = Q_{ном} \begin{cases} \left[4,9 - 10,1 \left(\frac{V}{V_{ном}} \right) + 6,2 \left(\frac{V}{V_{ном}} \right)^2 - 1,5 \Delta f^{o.e.} \right], & \text{если } 0,815 \leq \left(\frac{V}{V_{ном}} \right) \leq 1,2 \\ \left[0,657 + 0,158 \left(\frac{V}{V_{ном}} \right) - 1,5 \Delta f^{o.e.} \right], & \text{если } \left(\frac{V}{V_{ном}} \right) < 0,815 \\ \left[1,708 - 1,5 \Delta f^{o.e.} \right], & \text{если } \left(\frac{V}{V_{ном}} \right) > 1,2 \end{cases} \quad (9)$$

Типовые статические характеристики, используют для задания обобщенной типовой нагрузки, для напряжения 110 кВ (СХН 1) и 35 кВ (СХН 2), и графически имеют вид:

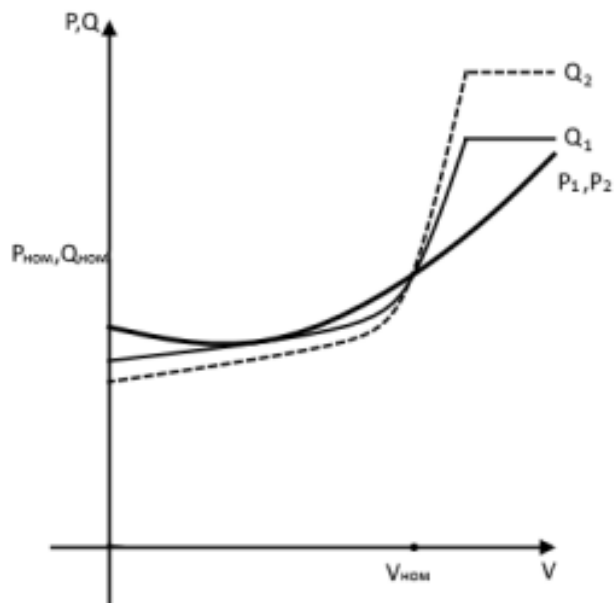


Рисунок 5 – Графическая зависимость типовых статических характеристик нагрузки

Модель нагрузки, заданная динамическими характеристиками нагрузки (ДХН), моделируется с использованием расширения RUSTab.

1.2.3 Формирование модели нагрузки динамическими характеристиками нагрузки

При выводе данных УР необходимо загрузить файл в формате .rg2 и сохранить его в формате .rst, после чего повторно загрузить файл динамики, только тогда сформируется шаблон с необходимыми для заполнения таблицами.

Панель расширения RusTab располагается в правом верхнем углу меню ПК RastrWin3 (рис.6).

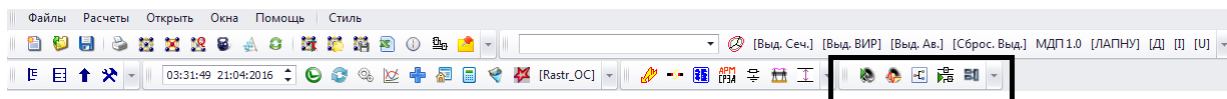


Рисунок 6 – Панель расширения RusTab в меню ПК RastrWin3

Для введения параметров синхронного и асинхронного двигателей требуется из главного меню пройти по вкладке «Открыть», затем во вкладке «Динамика (ИД)» будут расположены таблицы для заполнения - «СД (ИД)» и «АД (ИД)» (рис.7).

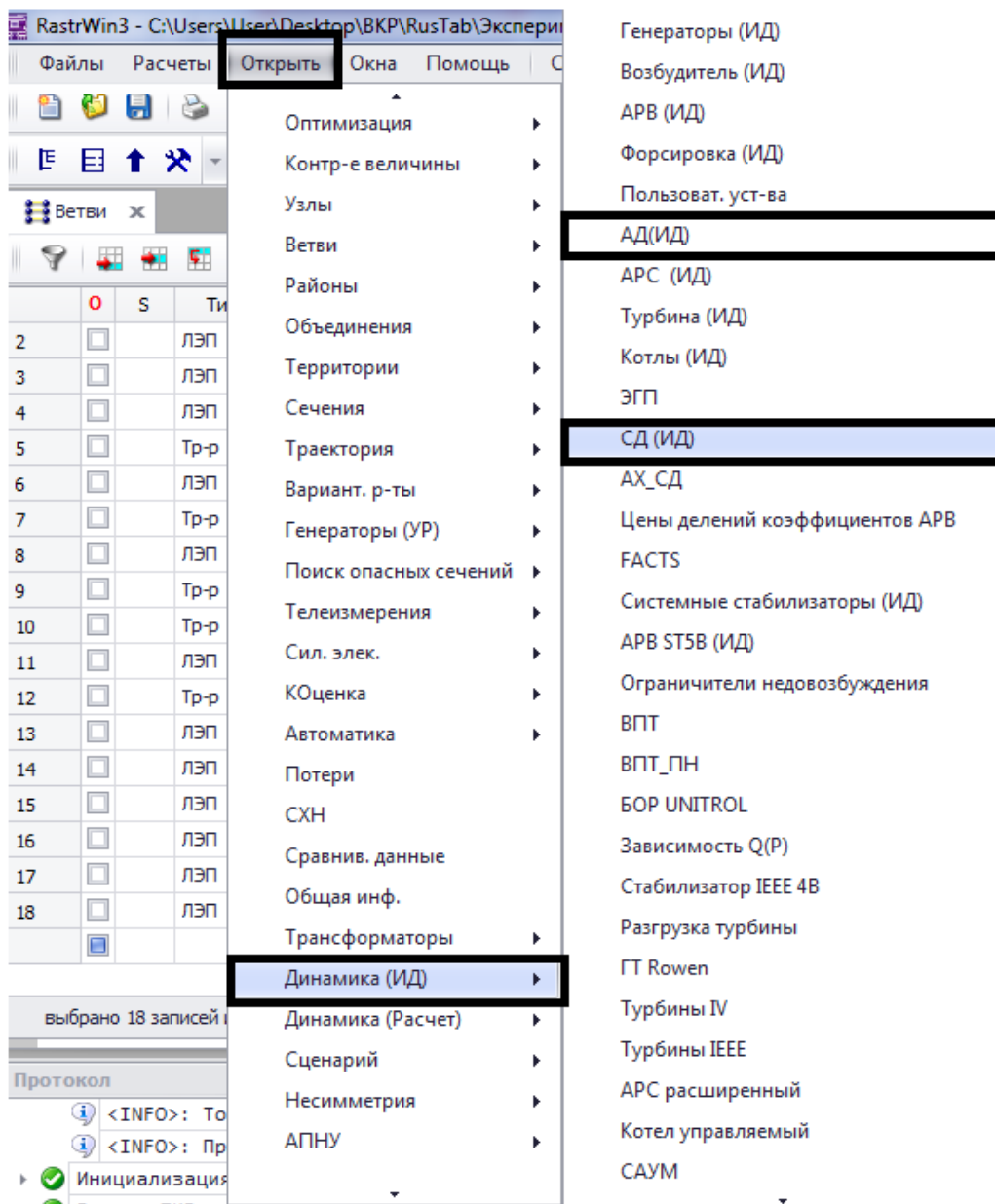


Рисунок 7 – Путь вкладки ввода параметров синхронного и асинхронного двигателей

Окно для ввода параметров СД показан на рисунке 8.

| S | N agr | Название | N узла | Модель | Марка | N_взб | % | COS(Ф... | P | P_ном | Uг_ном | COS(Ф... | Мст | Мтрор | Мпуск | я_r | N_ак | K_двиг | Mj | X'd |
|---|-------|-----------------|--------|-----------|-------|-------|---------|----------|---|-------|--------|----------|-------|-------|-------|-----|------|--------|----|-------|
| 1 | 2 | СДРЗ-14-56-12УЗ | 62 | Эк-Мус... | | 62 | 100,000 | 0,900 | | 0 | 6 | 0,900 | 0,500 | 0,100 | | | 1 | | 10 | 25,07 |

Рисунок 8 – Таблица параметров для синхронного двигателя

При моделировании синхронного двигателя задают следующие параметры:

- $N_{\text{агр}}$ – номер двигателя. Каждому двигателю вводится свой уникальный номер;
- Модель – тип расчётной модели, например «Ур. Движения»;
- $N_{\text{узла}}$ – номер узла двигателя;
- $N_{\text{взб}}$ – номер возбудителя;
- % – процент мощности генерируемой двигателем в узле.;
- $\cos(\Phi)_{\text{раб}}$ – рабочий коэффициент мощности;
- $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение двигателя, кВ;
- $\cos(\Phi)_{\text{ном}}$ – номинальный коэффициент мощности;
- $M_{\text{ст}}$ – статический момент сопротивления, о.е.;
- $M_{\text{трог}}$ – момент сопротивления, возникающий при трогании, о.е.;
- $M_{\text{пуск}}$ – пусковой момент двигателя, о.е.;
- $N_{\text{ах}}$ – номер асинхронной характеристики;
- M_j – механическая постоянная инерции, сек;
- x_d – синхронное реактивное сопротивление, Ом;
- x'_d – переходное реактивное сопротивление, Ом;
- x''_d – сверхпереходное реактивное сопротивление, Ом;
- T'_{d0} – переходная постоянная времени, сек.

Все вводимые параметры синхронного двигателя, за исключением M_j , x_d , x'_d , x''_d являются справочными данными.

Пример расчёта сверхпереходного реактивного сопротивления синхронного двигателя.

1. Определяется номинальная полная мощность синхронного двигателя:

$$S_{\text{номСД}} = \frac{P_{\text{номСД}}}{\eta_{\text{ном}} \cdot \cos(\varphi_{\text{ном}})} = \frac{315}{0,925 \cdot 0,9} = 378,4 \text{ кВА}, \quad (10)$$

где:

$P_{\text{номСД}}$ – номинальная мощность синхронного двигателя, кВт;

$\eta_{\text{ном}}$ – номинальный коэффициент полезного действия (КПД) СД, о.е

$\cos(\varphi_{\text{ном}})$ – номинальный коэффициент активной мощности СД, о.е.

2. Определяется сверхпереходное реактивное сопротивление:

$$\begin{aligned} x_d'' &= \left[\frac{1}{I_{\text{пуск}^*}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{M_{\text{пуск}^*} \cdot \cos(\varphi_{\text{ном}})}{I_{\text{пуск}^*}} \right)^2} \right] \cdot \frac{U_{\text{ср.ном}}^2}{S_{\text{номСД}}} = \\ &= \left[\frac{1}{5,5} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{1,1 \cdot 0,9}{5,5} \right)^2} \right] \cdot \frac{6,3^2}{378,4} = 18,76 \text{ Ом}, \end{aligned} \quad (11)$$

где:

$I_{\text{пуск}^*}$ – кратность пускового тока по отношению к номинальному о.е;

$M_{\text{пуск}^*}$ – кратность пускового момента по отношению к номинальному

о.е;

При задании асинхронной характеристики вводится следующий набор данных:

- N – номер характеристики;
- s – скольжение, %
- $M_{\text{ас}}$ – значение асинхронного момента, о.е.

Таблица для ввода параметров возбудителей синхронных машин расположена во вкладке Возбудитель (ИД).

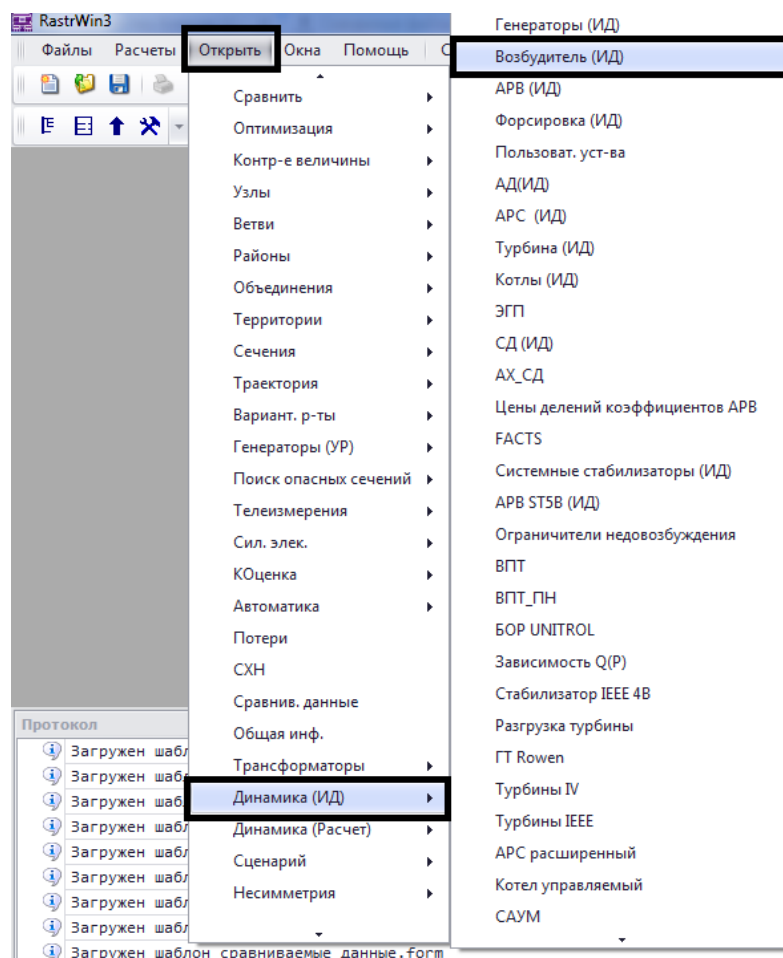


Рисунок 9 – Путь вкладки Возбудитель (ИД)

Также требуется задать возбудитель, для этого вводятся следующие параметры:

- $N_{\text{агр}}$ – номер возбудителя;
- $T_{\text{возб}}$ – постоянная времени возбудителя, сек;
- Тип – тип возбуждения;
- $U_{f\text{мин}}$ – минимальное значение напряжения возбуждения, о.е;
- $U_{f\text{макс}}$ – максимальное значение напряжения возбуждения, о.е;
- $I_{f\text{мин}}$ – минимальное значение тока возбуждения, о.е;
- $I_{f\text{макс}}$ – максимальное значение тока возбуждения, о.е.

Пример ввода данных по возбудителям, представлен на рисунке 10.

| | S | N agr | Название | Модель | Марка | N_АРВ | N форс | T_возб | K_ir | K_if | Uf_min | Uf_max | If_min | If_max | Тип |
|---|---|-------|----------|---------|-------|-------|--------|--------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | | 1 319 | | Мустанг | | 1 319 | | 0,040 | | | -1,600 | 2,000 | 0,600 | 2,000 | Нез... |
| 2 | | 1 320 | | Мустанг | | 1 320 | | 0,040 | | | -1,600 | 2,000 | 0,600 | 2,000 | Нез... |
| 3 | | 1 321 | | Мустанг | | 1 321 | | 0,040 | | | -1,600 | 2,000 | 0,600 | 2,000 | Нез... |
| 4 | | 1 322 | | Мустанг | | 1 322 | | 0,040 | | | -1,600 | 2,000 | 0,600 | 2,000 | Нез... |
| 5 | | 1 323 | | Мустанг | | 1 323 | | 0,040 | | | -1,600 | 2,000 | 0,600 | 2,000 | Нез... |
| 6 | | 1 324 | | Мустанг | | 1 324 | | 0,040 | | | -1,600 | 2,000 | 0,600 | 2,000 | Нез... |

Рисунок 10 – Ввод данных при моделировании возбудителя

Примечания:

- 1) Уникальные идентификационные номера возбудителей двигателя могут совпадать с его номером;
- 2) Отсутствие в каком-либо поле числового значения будет распознано программой как значение равно нулю.

Если синхронный двигатель имеет АРВ, то необходимо ввести параметры регуляторов возбуждения (рис. 11). Регулирование возбуждения оказывает существенное влияние на переходные процессы при значительных возмущениях, а также при применении управляющих воздействий.

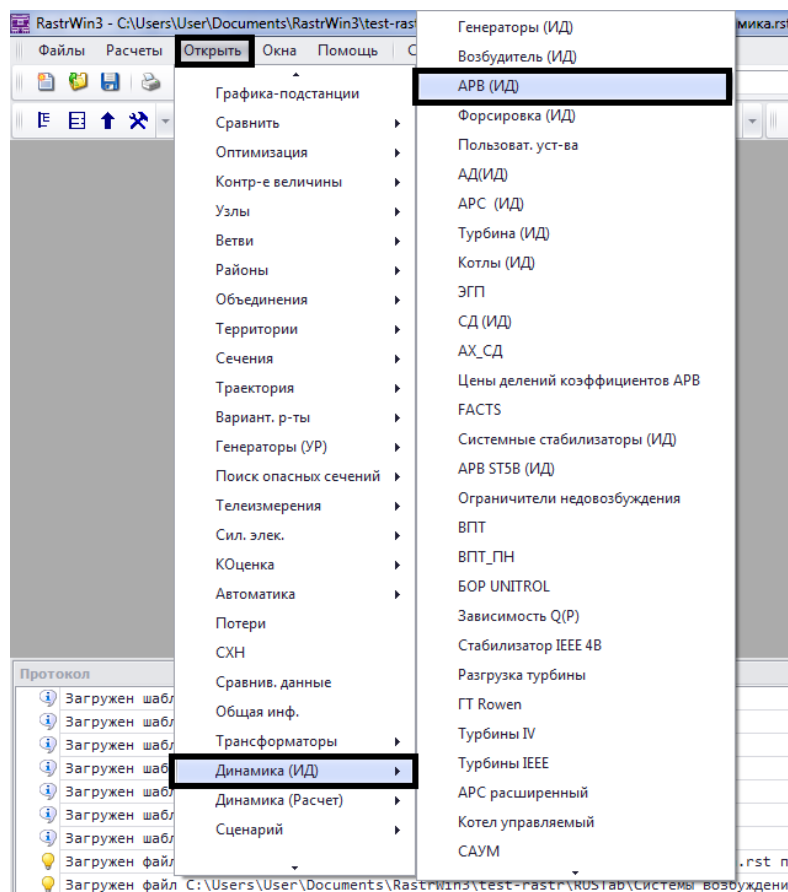


Рисунок 11 – путь вкладки АРВ (ИД)

Все параметры для моделирования АРВ вносятся в таблицу во вкладке АРВ (ИД).

| S | N avp | Название | Модель | Марка | T _{pv} | K _u | K' _u | K' _{if} | K _f | K' _f | T _f | U _{min} | U _{max} | Alpha |
|---|-------|----------|--------|-------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | |

Рисунок 12 – Окно задания исходных данных АРВ для синхронного двигателя

Описание параметров АРВ представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры регуляторов возбуждения

| Параметр | Описание |
|-------------------------------------|---|
| S | Состояние АРВ |
| Naгр | Номер АРВ |
| Название | Название АРВ |
| Модель | Модель АРВ: Упрощенная; Выбор; Полная.; Автовыбор; Пользов. |
| Марка | Марка АРВ |
| T _{pv} | Постоянная времени регулятора возбуждения [с]. |
| U _{min} , U _{max} | Ограничения входного сигнала [ед.ном.воз.]. |

Продолжение таблицы 2

| | |
|--------|---|
| $K'u$ | Коэффициент регулирования по производной напряжения [делений] |
| $K'If$ | Коэффициент регулирования по производной тока [делений] |
| Kf | Коэффициент регулирования по отклонению частоты от ее предыдущего значения [делений] |
| $K'f$ | Коэффициент регулирования по производной частоты [делений] |
| Tf | Постоянная времени в канале отклонения частоты [с] |
| ALFA | Коэффициент, учитывающий изменение уставки по напряжению при отклонении частоты в сети [о.е.] |

Ввод исходных данных по АРВ представлен на рисунке 13.

| S | N agr | Название | Модель | Марка | T _{пр} | K _u | K' _u | K' _{If} | K _f | K' _f | T _f | U _{min} | U _{max} | Alpha |
|---|-------|----------|------------------|-------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-------|
| 1 | 1 320 | | Пропорциональная | | 0,040 | 50,000 | 3,600 | 1,000 | 2,600 | 2,500 | 0,900 | -6,000 | 6,000 | |
| 2 | 1 319 | | Пропорциональная | | 0,040 | 50,000 | 3,600 | 1,000 | 2,600 | 2,500 | 0,900 | -6,000 | 6,000 | |
| 3 | 1 321 | | Пропорциональная | | 0,040 | 50,000 | 3,600 | 1,000 | 2,600 | 2,500 | 0,900 | -6,000 | 6,000 | |
| 4 | 1 322 | | Пропорциональная | | 0,040 | 50,000 | 3,600 | 1,000 | 2,600 | 2,500 | 0,900 | -6,000 | 6,000 | |
| 5 | 1 323 | | Пропорциональная | | 0,040 | 50,000 | 3,600 | 1,000 | 2,600 | 2,500 | 0,900 | -6,000 | 6,000 | |
| 6 | 1 324 | | Пропорциональная | | 0,040 | 50,000 | 3,600 | 1,000 | 2,600 | 2,500 | 0,900 | -6,000 | 6,000 | |
| 7 | 1 325 | | Пропорциональная | | 0,040 | 50,000 | 3,600 | 1,000 | 2,600 | 2,500 | 0,900 | -6,000 | 6,000 | |

Рисунок 13 – Ввод исходных данных по АРВ

Примечания:

- 1) Уникальные номера регуляторов возбуждения двигателя могут совпадать с его номером;
- 2) Отсутствие в каком-либо поле числового значения будет распознано программой как значение равное нулю.

Перечень параметров для асинхронного двигателя представлен на рисунке 14.

| S | N | Название | N uslo | Модель | Марка | % | P | Q | Tan | Cosφ | Kvar | Mst | Mtror | Kn | Ustz/U... | Mmax | Mtror | Mtror | s _{ном} | s _r |
|---|----|-------------------|--------|--------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
| 1 | 61 | ДА3304-4000Х-ФНУ1 | 61 | ДНУ-1 | | 100,000 | 0,336 | 0,199 | 0,800 | 0,860 | 0,700 | 0,500 | 0,500 | 4,000 | 1,000 | 2,800 | 1,300 | 7,000 | 2,000 | 70,000 |

Рисунок 14 – Окно введения параметров для асинхронного двигателя

Для асинхронного двигателя задаются следующими параметрами:

- N_{agr} – номер двигателя;

- Модель – тип расчётной модели;
- $N_{\text{узла}}$ – номер узла двигателя;
- % – процент мощности, генерируемой асинхронным двигателем в узле;
- $T_{\text{дв}}$ – механическая постоянная времени, сек;
- $\cos(\Phi)_{\text{ном}}$ – номинальный коэффициент мощности АД;
- $K_{\text{заг}}$ – коэффициент загрузки АД, о.е.;
- $M_{\text{ст}}$ – статический момент сопротивления, о.е.;
- $M_{\text{трог}}$ – момент сопротивления при трогании, о.е.;
- $M_{\text{пуск}}$ – пусковой момент, о.е.;
- $U_{\text{дв}} / U_{\text{ном}}$ – напряжение двигателя, о.е.;
- $M_{\text{макс}}$ – максимальный момент двигателя, о.е.;
- $I_{\text{пуск}}$ – пусковой ток, о.е.;
- $s_{\text{ном}}$ – номинальное скольжение, о.е.;
- s_r – скольжение, начиная с которого вводится учет вытеснения тока в роторе.

Все вводимые параметры асинхронного двигателя являются справочными данными.

После введения параметров двигателя, требуется их сохранить. (рис. 15).

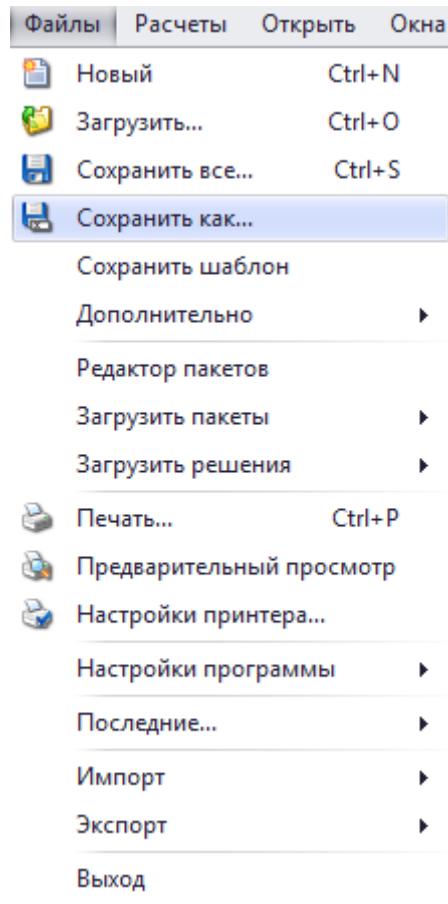


Рисунок 15 – Сохранение данных динамики

Параметры двигателей, АРВ, возбудителей и режим будут скомпилированы в одном файле формата «.rst».

1.3 Исходные данные для построения расчётной модели

Исходные данные содержат генерирующие источники, представленные генераторами ЮС ТЭЦ-1 (8 турбогенераторов), 8 ЛЭП, 7 трансформаторных подстанций (ПС).

Параметры оборудования и исходные данные приведены в таблицах 3-5.

Таблица 3 – Параметры генераторов

| Название электростанции | Марка | Количество, шт | S , МВА | P , МВт | $\cos\varphi$, о.е. | $U_{ном}$, кВ | x_d'' , о.е. |
|-------------------------|-------------|----------------|-----------|-----------|----------------------|----------------|----------------|
| ЮС ТЭЦ-1 | ТВФ-63-2У3 | 2 | 78,75 | 63 | 0,8 | 6,3 | 0,140 |
| | ТВФ-120-2У3 | 1 | 150 | 120 | 0,8 | 10,5 | 0,278 |

Продолжение таблицы 3

| | | | | | | | |
|--|------------|---|-------|------|-----|------|-------|
| | DG185ZL-04 | 5 | 63,13 | 50,5 | 0,8 | 10,5 | 0,183 |
|--|------------|---|-------|------|-----|------|-------|

Таблица 4 – Параметры ЛЭП

| Наименование ЛЭП | Расчётные параметры ЛЭП | | | | $I_{\text{доп}}$, А |
|--|-------------------------|----------|------------|------------|----------------------|
| | R , Ом | X , Ом | B , мкСм | G , мкСм | |
| Южно-Сахалинская 2СШ-110 - Южно-Сахалинская ТЭЦ СШ-110 (Г2) | 0,249 | 0,436 | -2,7 | - | - |
| Южно-Сахалинская 2СШ-110 - Луговая 1СШ-110 | 0,29 | 0,51 | -3,2 | - | - |
| Южно-Сахалинская 2СШ-110 - Отпайка ВЛ-110 С-14 на Центр | 0,83 | 1,45 | -9 | - | - |
| Южно-Сахалинская 2СШ-110 - Южная 2СШ-110 | 1,4 | 2,42 | -21 | - | - |
| Отпайка ВЛ-110 С-14 на Центр - Центр 2СШ-110 | 0,2 | 0,34 | -2,1 | - | - |
| Отпайка ВЛ-110 С-14 на Центр - Промузел РУ-110 (ВЛ-110 С-1 С-14 С-3) | 0,573 | 1 | -6,2 | - | - |
| Отпайка ВЛ-110 С-13 на Центр - Центр 1СШ-110 | 0,2 | 0,34 | -2,1 | - | - |
| Отпайка ВЛ-110 С-13 на Центр - Промузел 2СШ-110 | 0,573 | 1 | -6,2 | - | - |
| Промузел РУ-110 (ВЛ-110 С-1 С-14 С-3) - Промузел 1СШ-110 | 0,2 | 0,34 | -2,1 | - | - |
| Промузел РУ-110 (ВЛ-110 С-1 С-14 С-3) - Юго-Западная СШ-110 | 1,35 | 4,2 | -29 | - | - |

Таблица 5 – Параметры трансформаторов в районе размещения КС

| Наименование ПС | Марка трансформатора | n, шт | Расчётные параметры | | | | | | | | Длительно допустимый ток $I_{доп}, А$ | | |
|----------------------------|--------------------------|----------|---------------------|-----|-----|-------|----|------|------------|------------|--|-------|------|
| | | | R, Ом | | | X, Ом | | | B, мкСм | G, мкСм | ВН | СН | НН |
| | | | ВН | СН | НН | ВН | СН | НН | | | | | |
| ЮС ТЭЦ-1 | ТРДЦН (ТРДН)-80000 / 110 | 2 | 0,6 | | | 17,4 | | | 7,1 | 1,5 | 402 | - | 3666 |
| | ТРДЦН-125000 / 110 | 1 | 0,4 | | | 11,1 | | | 5,3 | 1,1 | 596 | | 6873 |
| | ТРДЦН-63000 / 110 (ТРДН) | 5 | 0,87 | | | 22 | | | 4,46 | - | 301 | | 3464 |
| ПС 220 кВ Южно-Сахалинская | АТДЦТН-125000/220/110 | 2 | 0,3 | 0,3 | 0,6 | 30,4 | 0 | 54,2 | 18,9 | 2,4 | 314 | 596,4 | - |
| ПС 110 кВ Южная | ТДТН-40000 / 110 | 2 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 33,5 | 0 | 20,7 | 5,5 | - | 190,9 | 328,2 | |
| ПС 110 кВ Хомутово-2 | ТДТН-40000 / 110 | 2 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 33,5 | 0 | 20,7 | 5,5 | - | 190,9 | 328,2 | - |
| ПС 110 кВ Корсаковская | ТДТН-40000 / 110 | 2 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 33,5 | 0 | 20,7 | 5,5 | - | 190,9 | 328,2 | |
| ПС 110 кВ Промоузел | ТДТН-25000 / 110 | 2 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 56,9 | 0 | 35,7 | 2,34 | - | 105 | 153 | |
| ПС 110 кВ Центр | ТДТН-63000 / 110 | 2 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 22 | 0 | 13,6 | 6,2 | 1,3 | 452 | 635 | |

При моделировании УР использовалась модель нагрузки, заданная постоянными значениями активной и реактивной мощностей. Далее модель нагрузки будет меняться только на шинах ПС Центр, так как это ближайшая от ЮС ТЭЦ-1 ПС и самая нагруженная. Способ задания электрической нагрузки во всех остальных узлах электрической сети останется прежним – постоянными мощностями.

1.4 Заключение по разделу

Существенным параметром эффективности режима является соблюдение уровней напряжения по требованиям ГОСТ 32144-2013.

По результатам расчета установившегося режима можно сделать вывод о том, что токовая загрузка трансформаторов и автотрансформаторов, уровни напряжения во всех узлах энергосистемы входят в область допустимых значений, а токи по ВЛ 110-220 кВ не превышают длительно допустимых значений и удовлетворяют требованиям ГОСТ 839-2019.

Раздел 2 - Определение зависимости предельного времени отключения короткого замыкания от модели электрической нагрузки

Предельное время отключения короткого замыкания – это время отключения КЗ, при котором площадь ускорения на графике активной мощности будет равна площади возможного торможения. При отключении короткого замыкания через время, превышающее предельное время отключения, будет прослеживаться нарушение динамической устойчивости энергосистемы.

В данной работе будет устанавливаться зависимость предельного времени отключения короткого замыкания от модели электрической нагрузки задаваемой на ПС Центр.

Переходный процесс моделируется в программном комплексе RatrWin3 с расширением RusTab.

Сценарий переходного процесса при возникновении однофазного КЗ состоит в следующем:

1. Через 1 секунду после начала расчета переходного процесса подключается шунт в узел, находящийся на ветви ЮС ТЭЦ – ПС Сахалинская и имитирующий возникновение однофазного короткого замыкания;
2. Через 0,18 секунд после подключения шунта происходит отключение поврежденной ветви.

Сценарий переходного процесса, задаваемый в ПК RusTAB, представлен в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 – сценарий таблицы Логика (t)

| № | Тип | Формула | Действия | Выдержка |
|---|---------|---------|----------|----------|
| 1 | Формула | 1 | A1 | 1 |
| 2 | Формула | LT1 | A2 | 0,18 |
| 3 | Формула | LT2 | A3 | 0 |

Таблица 7– сценарий таблицы Действия (t)

| № | № группы | Тип | Формула | Ключ объекта | N сраб |
|---|----------|---------|---------|--------------|--------|
| 1 | 1 | Узел Rш | 0 | 333 | 1 |
| 2 | 1 | Узел Xш | 7.91677 | 333 | 1 |
| 3 | 2 | Узел Gш | 0 | 333 | 1 |

Продолжение таблицы 7

| | | | | | |
|---|---|------------|---|--------|---|
| 4 | 2 | Узел ВШ | 0 | 333 | 1 |
| 5 | 3 | Сост ветви | 0 | 51,333 | 1 |
| 6 | 3 | Сост ветви | 0 | 333,60 | 1 |

Поскольку по результатам исследования динамическая устойчивость нарушалась при любом времени отключения короткого замыкания, то и определить предельное время отключения было невозможно. Причиной этому стала ошибка при подготовке файлов динамики, а именно «конфликт» форматов файла динамики (.rst) и файла установившегося режима (.rg2). В дальнейшей работе будет изучена зависимость скорости возрастания углов ЭДС генераторов относительно системы от модели нагрузки.

2.1 Скорость изменения угла ЭДС при моделировании электрической нагрузки постоянными мощностями

На ПС 110 кВ Центр нагрузка на шинах 6 кВ задается постоянными мощностями: $P_H = 35,2$ МВт; $Q_H = 8,3$ МВт.

Результат переходного процесса приведен на рисунке 16.

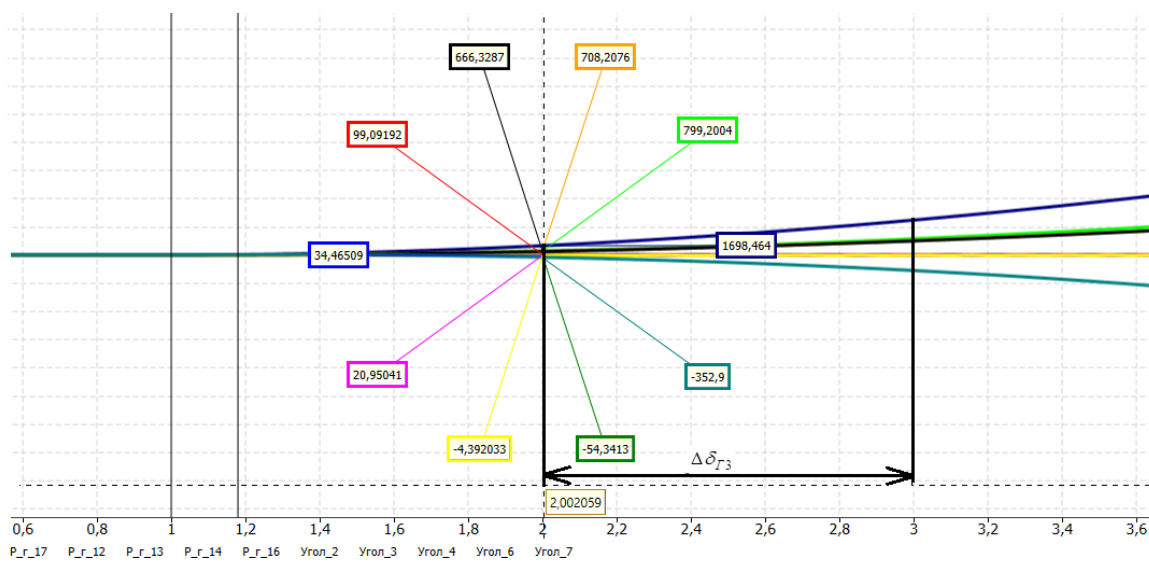


Рисунок 16 – Временные зависимости параметров динамики при нагрузке заданной постоянными мощностями.

Активная мощность всех генераторов в момент КЗ резко снижается и до момента срабатывания защиты начинает увеличиваться. В момент отключения цепи мощность генераторов резко увеличивается, особенно

сильное увеличение мощности замечается на генераторе под номером 7, так короткое замыкание происходило на единственной линии, на которую и работал этот генератор, а её отключение выводит генератор на изолированную работу. Мощность оставшихся генераторов принимает установившееся значение.

Так как скорость изменения угла на всех генераторах после отключения короткого замыкания примерно одинакова, то её анализ будет производиться только для самого мощного генератора – Г3.

$$\Delta\delta_{Г3}(\%) = \frac{6248,417 - 1698,464}{6248,417} \cdot 100\% = 72,8\% \quad (12)$$

Так, за одну секунду переходного процесса после отключения короткого замыкания угол увеличился на 72,8%.

2.2 Скорость изменения угла ЭДС при моделировании электрической нагрузки постоянным током

На ПС Центра нагрузка на шинах 6 кВ задается постоянным током, с использованием статических характеристик нагрузки, так коэффициенты СХН будут равны: $a_0 = 0$, $a_1 = 1$, $a_2 = 0$, $b_0 = 0$, $b_1 = 1$, $b_2 = 0$.

Результат переходного процесса приведен на рисунке 17.

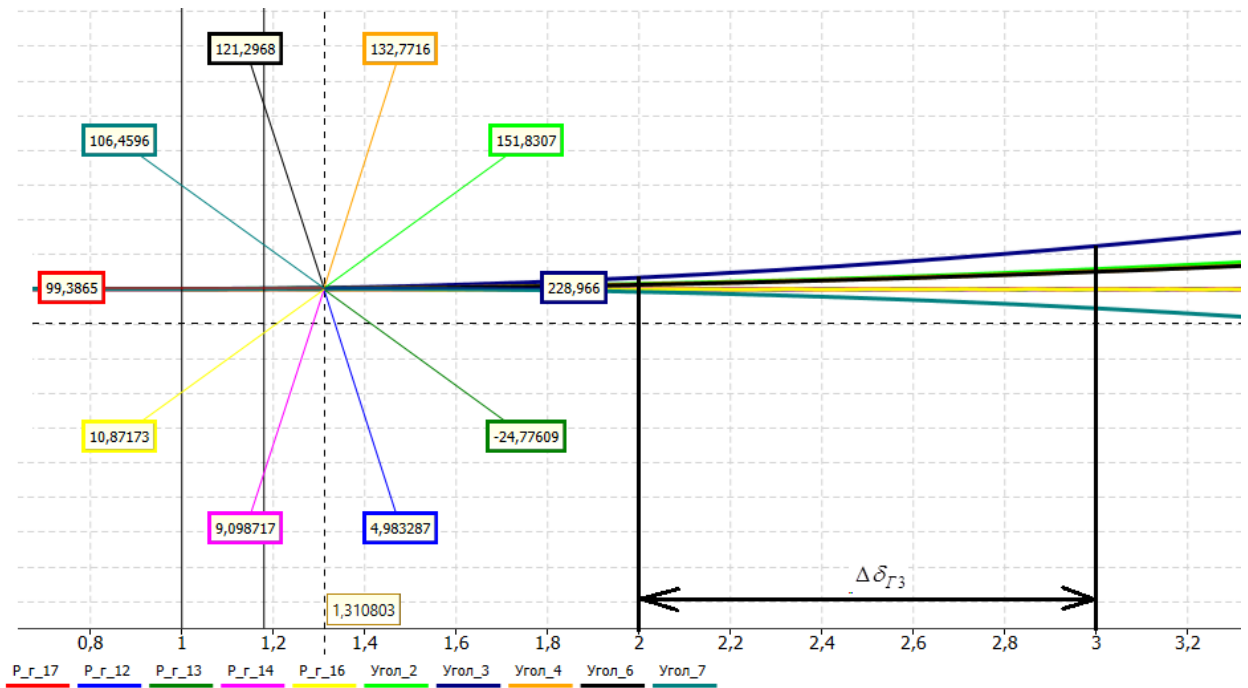


Рисунок 17 – Временные зависимости параметров динамики при нагрузке заданной постоянным током.

Сценарий этого и последующих переходных процессов повторяет сценарий при моделировании нагрузки постоянными мощностями.

$$\Delta\delta_{ГЗ}(\%) = \frac{6256,141 - 1686,914}{6256,141} \cdot 100\% = 73,2\% \quad (13)$$

Так, за одну секунду переходного процесса после отключения короткого замыкания угол увеличился на 73,2%.

2.3 Скорость изменения угла ЭДС при моделировании электрической нагрузки постоянным сопротивлением

На ПС 110 кВ Центр нагрузка на шинах 6 кВ задается постоянным сопротивлением. Коэффициенты СХН будут равны: $a_0 = 0, a_1 = 0, a_2 = 1, b_0 = 0, b_1 = 1, b_2 = 0$.

Результат переходного процесса приведен на рисунке 18.

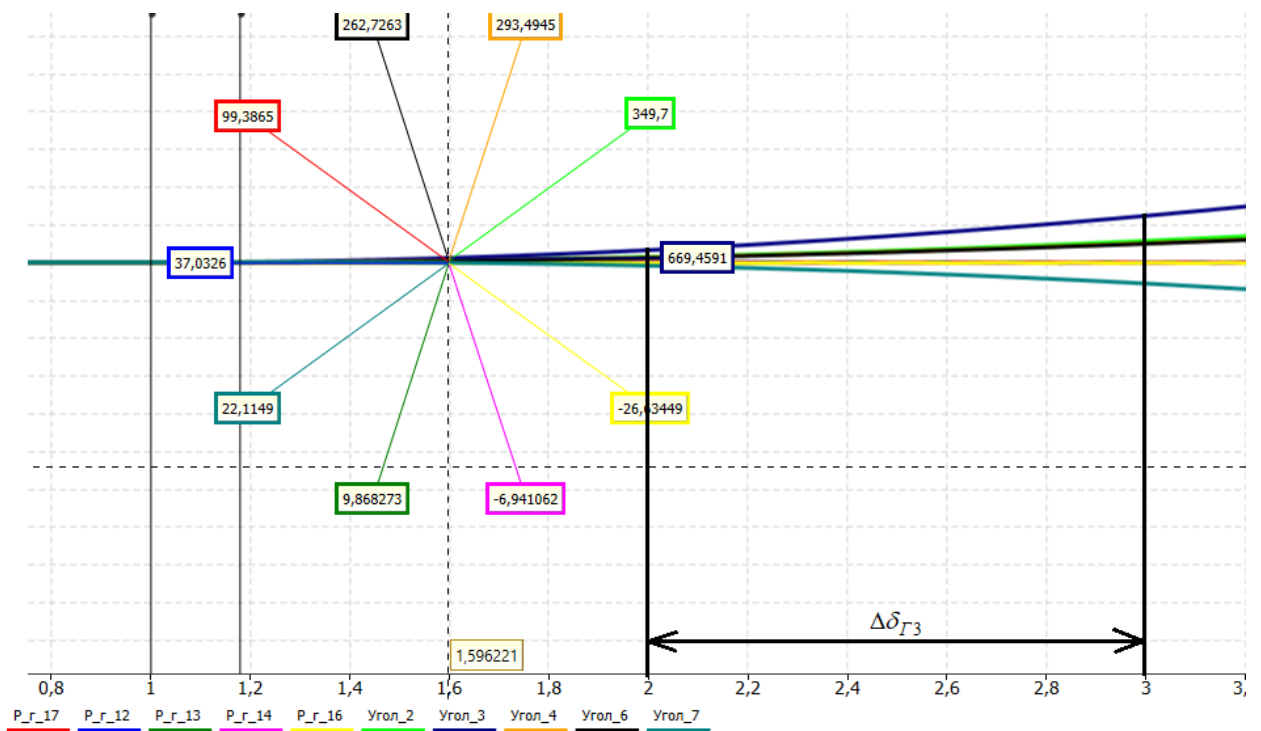


Рисунок 18 – Временные зависимости параметров динамики при нагрузке заданной постоянным сопротивлением.

$$\Delta\delta_{ГЗ}(\%) = \frac{6246,141 - 1686,914}{6246,141} \cdot 100\% = 72,99\% \quad (14)$$

Так, за одну секунду переходного процесса после отключения короткого замыкания угол увеличился на 72,99%.

2.4 Скорость изменения угла ЭДС при моделировании электрической нагрузки типовыми СХН

На ПС 110 кВ Центр нагрузка на шинах 6 кВ задается типовыми статическими характеристиками нагрузки, коэффициенты СХН равны: $a_0 = 0,83$, $a_1 = -0,3$, $a_2 = 0,37$, $b_0 = 4,9$, $b_1 = -10,1$, $b_2 = 6,2$.

Результат переходного процесса приведен на рисунке 19.

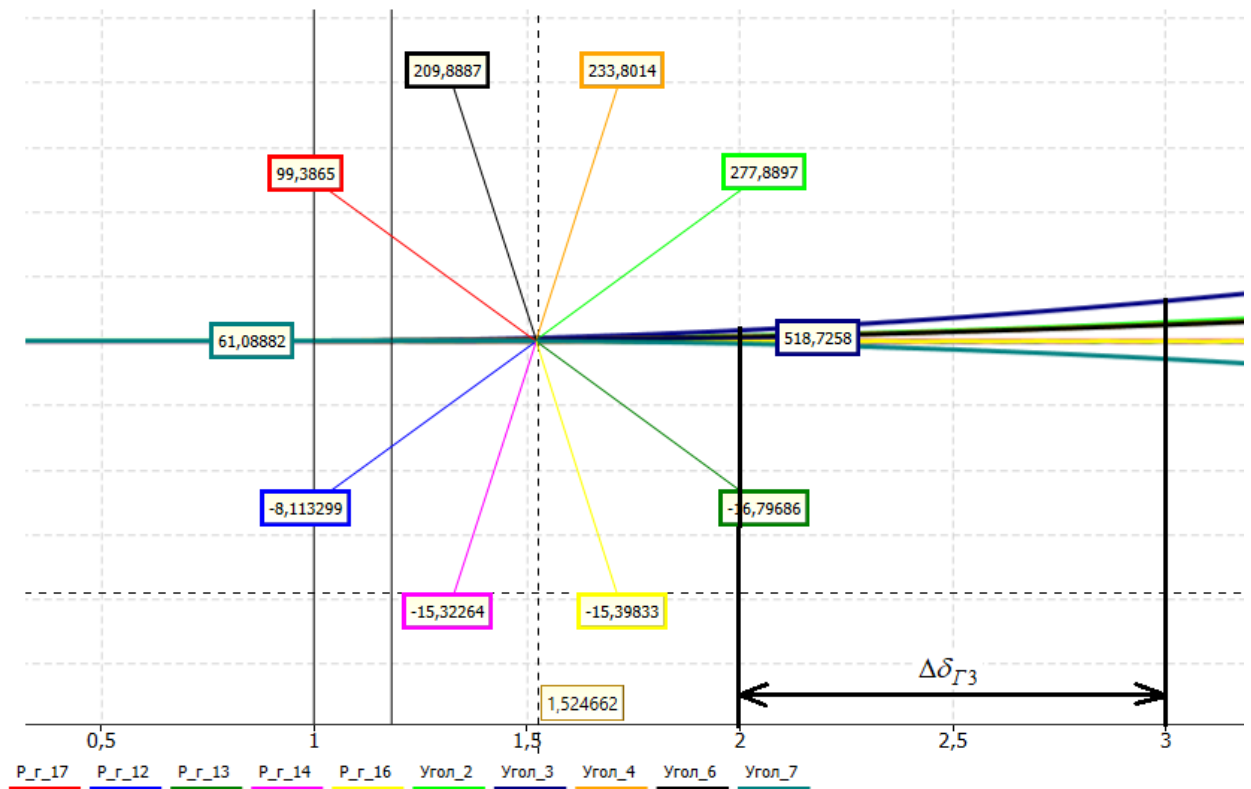


Рисунок 19 – Временные зависимости параметров динамики при нагрузке заданной типовыми СХН

$$\Delta\delta_{ГЗ}(\%) = \frac{6246,141 - 1696,914}{6246,141} \cdot 100\% = 72,83\% \quad (15)$$

Так, за одну секунду переходного процесса после отключения короткого замыкания угол увеличился на 72,83%.

2.5 Скорость изменения угла ЭДС при моделировании электрической нагрузки динамическими характеристиками

На ПС 110 кВ Центр нагрузка на шинах 6 кВ задается динамическими характеристиками нагрузки (ДХН). В качестве модели двигателя выбран синхронный двигатель марки СТД-8000.

Для упрощения ввода параметров можно создать каталог оборудования, где будут сохранены все типовые параметры устройств. Такой каталог будет сохранен в файле формата .brd и его может будет подгружать вместе с файлом динамики.

Параметры синхронных двигателей, задаваемые в расширении RusTAB, приведены в таблицах 8-10.

Таблица 8 – параметры АРВ(ИД)

| № | Модель | Трв | Ку | К`u | К`if | Kf | K`f | Tf | Umin | Umax |
|---|------------------|-------|----|-----|------|-----|-----|-----|------|------|
| 1 | Пропорциональная | 0,040 | 50 | 3,6 | 1 | 2,6 | 2,5 | 0,9 | -6 | 6 |

Таблица 9 – параметры возбудителя (ИД)

| № | Модель | №АРВ | TВОЗБ | Uf _{мин} | Uf _{макс} | If _{мин} | If _{макс} | Тип |
|---|---------|------|-------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------|
| 1 | Мустанг | 1 | 0,040 | -1,6 | 2 | 0,6 | 2 | Независ |

Таблица 10 – параметры СД(ИД)

| № | № узла | Модель | N_взб | % | COS(Φ) раб | Uгном |
|---|-----------------------|---------|-------|------|------------|-------|
| 1 | 261 | Ур.Движ | 1 | 100 | 0,9 | 6 |
| 2 | 262 | Ур.Движ | 1 | 100 | 0,9 | 6 |
| | COS(Φ) _{ном} | Мст | Мтрог | N_ах | Mj | X`d |
| 1 | 0,9 | 0,5 | 0,1 | 1 | 10 | 25,07 |
| 2 | 0,9 | 0,5 | 0,1 | 1 | 10 | 25,07 |

Результат переходного процесса приведен на рисунке 20.

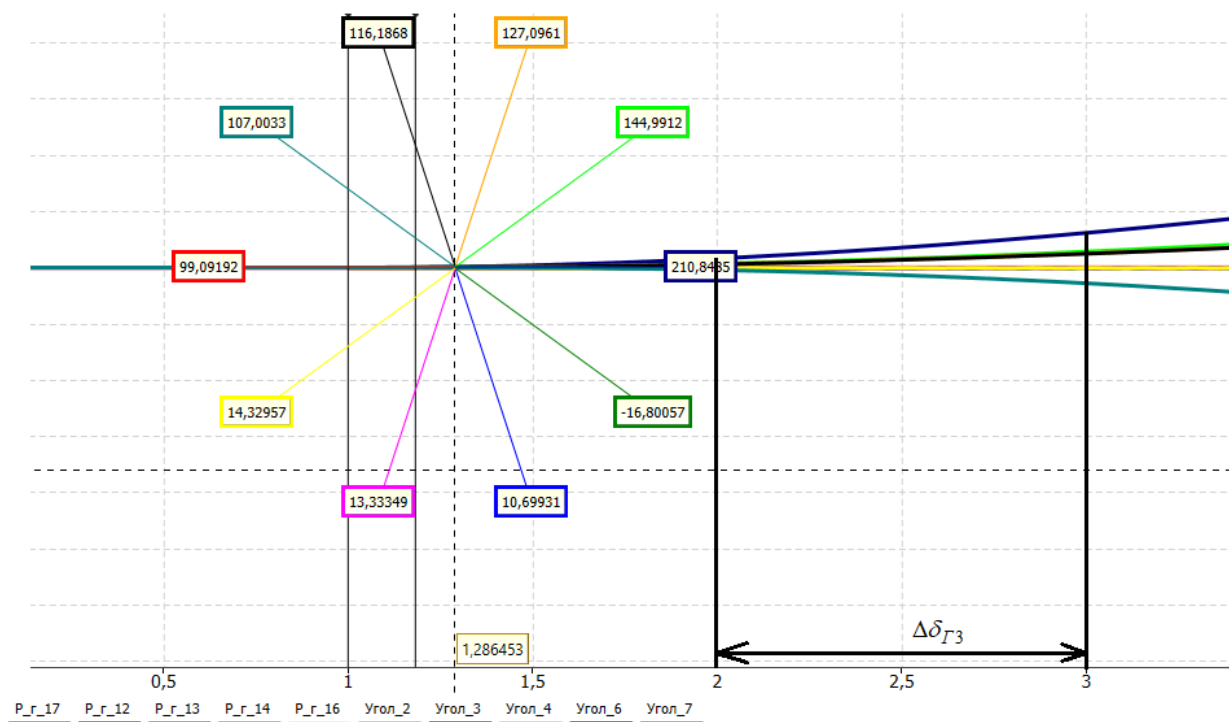


Рисунок 20 – Временные зависимости параметров динамики при нагрузке, заданной ДХН

$$\Delta\delta_{ГЗ}(\%) = \frac{6394,446 - 1519,519}{6394,446} \cdot 100\% = 76,24\% \quad (16)$$

Так, за одну секунду переходного процесса после отключения короткого замыкания угол увеличился на 76,24%.

2.6 Заключение по разделу

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что модель нагрузки, заданная двигательной нагрузкой, оказывает большее влияние на результаты расчета, чем модель заданная статическими характеристиками. Это может свидетельствовать о том, что статические характеристики не способны отразить изменения происходящие в энергосистеме при нормативном возмущении, поскольку сами являются набором установившихся режимов. Это дает основание для учета ДХН при анализе динамической устойчивости энергосистемы.

Раздел 3 – Финансовый менеджмент

3.1 Введение

Основной целью дипломного проекта является исследование влияния модели нагрузки на динамическую устойчивость энергосистемы. В рамках проекта будет рассмотрено влияние модели электрической нагрузки на критическое время отключения короткого замыкания. Для определения эффективности проекта необходимо проведение анализа с точки зрения финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В данном разделе будет проведен анализ конкурентных технических решений и SWOT анализ при разных моделях электрической нагрузки. Также будет определена трудоемкость проводимых работ инженера – проектировщика, создающего модель энергосистемы Сахалинской области.

Будет составлен график проведения работ, а также произведен расчет стоимости материальных затрат, заработной платы для разработки дипломного проекта, будет сформирован бюджет затрат на проектирование.

Данный раздел также предусматривает оценку ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности научного исследования.

3.2 Анализ конкурентных технических решений

Данный пункт позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для её перспективного улучшения.

Будет произведена оценка двух различных моделей электрической нагрузки:

1. Модель нагрузки, заданная типовыми статическими характеристиками нагрузки.

2. Модель нагрузки, заданная динамическими характеристиками нагрузки.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений приведена в таблице 11.

Таблица 11 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | Конкурентоспособность | |
|---|--------------|-------|----|-----------------------|-------|
| | | Б1 | Б2 | К1 | К2 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Технические характеристики ресурсоэффективности | | | | | |
| 1. Удобство интегрирования в энергосистему | 0,08 | 4 | 3 | 0,32 | 0,24 |
| 2. Удобство в эксплуатации | 0,075 | 4 | 3 | 0,3 | 0,225 |
| 3. Безопасность | 0,1 | 4 | 5 | 0,4 | 0,5 |
| 4. Надежность | 0,2 | 3 | 5 | 0,6 | 1 |
| 5. Возможность быстрого ремонта | 0,07 | 2 | 3 | 0,14 | 0,21 |
| 6. Простота системы релейной защиты и автоматики | 0,095 | 3 | 5 | 0,285 | 0,475 |
| 7. Простота модернизации существующего оборудования | 0,1 | 4 | 3 | 0,4 | 0,3 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | |
| 1. Конкурентоспособность технического решения | 0,03 | 5 | 4 | 0,15 | 0,12 |
| 2. Цена | 0,2 | 4 | 5 | 0,8 | 1 |
| 3. Предполагаемый срок эксплуатации | 0,1 | 5 | 5 | 0,5 | 0,5 |
| 4. Финансирование научной разработки | 0,03 | 5 | 5 | 0,15 | 0,15 |
| 5. Наличие сертификации разработки | 0,02 | 5 | 5 | 0,1 | 0,1 |
| Итого | 1 | 48 | 51 | 4,145 | 4,82 |

Исходя из результатов анализа, второй вариант моделирования электрической нагрузки – динамическими характеристиками нагрузки является самым конкурентоспособным ($K=4,82$). Это объясняется тем, что

данный вариант более точно отображает «поведение» нагрузки при анализе динамической устойчивости энергосистемы, так как имитирует реакцию двигательной нагрузки при возникновении нормативного возмущения, а именно однофазного короткого замыкания на линии.

3.3 SWOT анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ ВКР. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. В данном случае будет проведен SWOT анализ исследования влияния модели электрической нагрузки на результаты динамической устойчивости.

В качестве энергосистемы, которая будет исследоваться на динамическую устойчивость была выбрана энергосистема Сахалинской области, а подстанция на которой будет изменяться нагрузка будет ПС 110 кВ Центр, так как это ближайшая от ЮС ТЭЦ подстанция с самыми большими мощностями нагрузки.

Таблица 12 – Матрица SWOT

| | | |
|--|---|--|
| | <p>Сильные стороны разработки: С1: Удобность моделирования; С2: Высокая точность оценки устойчивости; С3: Высокая точность имитации «поведения» нагрузки на нормативные возмущения;</p> | <p>Слабые стороны разработки: С1: Необходимость в большом количестве данных о двигательной нагрузке; С2: Необходимость в высококвалифицированном персонале;</p> |
|--|---|--|

Продолжение таблицы 12

| | | |
|---|---|--|
| <p>Возможности: В1: Использование модели для исследований других видов устойчивости; В2: Появление дополнительного спроса на новый алгоритм исследований; В3: Развитие в перспективе технологий в данной отрасли</p> | <p>Моделирование нагрузки динамическими характеристиками – надежный и современный способ оценки динамической нагрузки при задании двигательной нагрузки, которая более полноценно отображает «поведение» нагрузки при сильных возмущениях в энергосистеме.</p> | <p>Применение данной разработки может повлечь за собой необходимость переквалификации персонала и повышения их компетенции.</p> |
| <p>Угрозы: У1: Появление новых конкурентных разработок; У2: Низкий уровень бюджетного финансирования подобных алгоритмов исследования.</p> | <p>Модели нагрузки, задаваемые динамическими характеристиками наиболее распространены за рубежом, в то время как в нашей стране все еще более используемыми остаются статические характеристики нагрузки, которые не могут в полной степени отразить реакцию нагрузки на динамические возмущения в энергосистеме.</p> | <p>Наиболее значимым недостатком данной технологии является более высокая стоимость оплаты труда инженерами проектировщиком, из-за возможной необходимости повышения квалификации и из-за необходимости увеличения времени на сам анализ с использованием динамических нагрузок.</p> |

Проанализировав полученную интерактивную матрицу проекта, можно сделать вывод, что использование динамических характеристик нагрузки в качестве модели этой самой нагрузки увеличит точность оценки динамической устойчивости энергосистемы, нежели использование статических характеристик. Данный проект имеет и свои минусы, объясняющиеся увеличенной стоимостью самого анализа, обусловленной увеличением часов, потраченных инженером проектировщиком на создание модели.

3.4 Формирование плана и графика разработки

Для выполнения исследований формируется рабочая группа, в составе которой руководитель проекта и инженер. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования,

проводим распределение исполнителей по видам работ. Результат представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень этапов распределения исполнителей

| № п/п | Описание работы | Исполнитель |
|-------|--|-------------------------------|
| 1 | Разработка технического задания | Руководитель проекта |
| 2 | Выбор и изучение литературных источников и нормативных документов | Инженер |
| 3 | Подбор направления исследования | Руководитель проекта, инженер |
| 4 | Календарное планирование по теме | Инженер |
| 5 | Раздел 1, Классификация моделей нагрузки | Инженер |
| 6 | Раздел 1, Требования устанавливаемые к сохранению динамической устойчивости | Инженер |
| 7 | Раздел 2, Создание базовой расчетной модели и расчет установившихся режимов части энергосистемы Сахалинской области, с учетом нагрузки задаваемой постоянными мощностями | Инженер |
| 8 | Раздел 2, Создание модели динамики и сценария переходного процесса | Инженер |
| 9 | Раздел 2, Моделирование электрической нагрузки динамическими характеристиками | Инженер |
| 10 | Раздел 2, Расчет динамики переходного процесса | Инженер |
| 11 | Оценка результатов | Руководитель проекта |
| 12 | Обработка документации | Инженер |
| 13 | Составление отчета по проекту | Инженер |

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5}, \quad (17)$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.,

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

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

$$T_{Pi} = \frac{t_{ож\ i}}{q_i}, \quad (18)$$

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

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

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

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Формула расчета выглядит следующим образом:

$$T_{ki} = T_{Pi} \cdot k_{кал}, \quad (19)$$

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 формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (20)$$

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

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

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

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \approx 2 \text{ чел} - \text{дней}; \quad (21)$$

$$T_p = \frac{t_{ож}}{Ч} = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня}; \quad (22)$$

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{366 - 116 - 14} = 1,553; \quad (23)$$

$$T_k = T_p \cdot k_{кал} = 2 \cdot 1,553 \approx 4 \text{ дня}. \quad (24)$$

Таблица 14 – Временные показатели проведения научного исследования

| № п/п | Описание работы | Трудоемкость, чел.-дней | Количество исполнителей | Длительность, чел.-дней (раб.) | Длительность, чел.-дней (календ.) |
|-------|--|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | Разработка технического задания | 2 | 1 | 2 | 4 |
| 2 | Выбор и изучение литературных источников и нормативных документов | 4 | 1 | 4 | 7 |
| 3 | Подбор направления исследования | 3 | 2 | 2 | 4 |
| 4 | Календарное планирование по теме | 2 | 1 | 2 | 4 |
| 5 | Раздел 1, Классификация моделей нагрузки | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 6 | Раздел 1, Требования устанавливаемые к сохранению динамической устойчивости | 3 | 1 | 3 | 6 |
| 7 | Раздел 2, Создание базовой расчетной модели и расчет установившихся режимов части энергосистемы Сахалинской области, с учетом нагрузки задаваемой постоянными мощностями | 8 | 1 | 8 | 16 |
| 8 | Раздел 2, Создание модели динамики и сценария переходного процесса | 7 | 1 | 7 | 14 |
| 9 | Раздел 2, Моделирование электрической нагрузки динамическими характеристиками | 1 | 1 | 1 | 2 |

Продолжение таблицы 14

| | | | | | |
|----|--|---|---|---|----|
| 10 | Раздел 2, Расчет динамики переходного процесса | 2 | 1 | 2 | 4 |
| 11 | Оценка результатов | 4 | 1 | 4 | 8 |
| 12 | Обработка документации | 2 | 1 | 2 | 4 |
| 13 | Составление отчета по проекту | 7 | 1 | 7 | 11 |

Таблица 15 – Данные по рабочим дням

| | Количество дней |
|---|-----------------|
| Общее количество рабочих дней для выполнения работы | 86 |
| Общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер | 80 |
| Общее количество рабочих дней, в течение которых работал руководитель проекта | 6 |

Календарный план-график проекта представлен в таблице 16.

Таблица 16 – Календарный план-график проекта

| № | Вид работ | Исполнители | Т _к , кал. дн. | Продолжительность работ | | | | | | | | | | |
|-----|---|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---|-----|---|---|------|---|---|---|---|---|
| | | | | апр. | | май | | | июнь | | | | | |
| | | | | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | | |
| 1 | Разработка технического задания | Руководитель проекта | 4 | ■ | | | | | | | | | | |
| 2 | Выбор и изучение литературных источников и нормативных документов | Инженер | 7 | | ■ | | | | | | | | | |
| 3 | Подбор направления исследования | Рук-ль проекта, инженер | 4 | | ■ | | | | | | | | | |
| 4 | Календарное планирование по теме | Инженер | 4 | | ■ | | | | | | | | | |
| ... | | | 47 | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 12 | Оценка результатов | Рук-ль проекта | 4 | | | | | | | | ■ | | | |
| 13 | Обработка документации | Инженер | 4 | | | | | | | | | ■ | | |
| 14 | Составление отчета по проекту | Инженер | 11 | | | | | | | | | | ■ | ■ |

■ - руководитель, ■ - инженер.

3.5 Формирование бюджета

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

Для того, чтобы запланировать бюджет ВКР необходимо рассмотреть все виды расходов, которые связаны с его выполнением.

При формировании бюджета НИИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- 1) Амортизация;
- 2) Заработная плата;
- 3) Отчисления во внебюджетные фонды;
- 4) Накладные расходы.

В данном пункте будет рассчитана амортизация ноутбука с помощью которого выполнялась работа.

Срок эксплуатации ноутбука 4 года. Отсюда следует, что норма амортизации равна:

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100\% = \frac{1}{4} \cdot 100\% = 25\%; \quad (25)$$

где n – срок полезного использования в годах.

Амортизация равна:

$$A = \frac{K \cdot I}{12 \cdot 30} \cdot m_p = \frac{0,25 \cdot 40}{12 \cdot 30} \cdot 44 = 1222,22 \text{ руб}; \quad (26)$$

где I - итоговая стоимость в тыс. руб.; m – время использования в днях.

Статья включает основную заработную плату работников и дополнительную зарплату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}; \quad (27)$$

где $Z_{осн}$ - основная зарплата; $Z_{доп}$ - дополнительная зарплата (15% от $Z_{осн}$).

По формуле рассчитаем основную зарплату руководителя проекта:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p; \quad (28)$$

где T_p - продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн.

$Z_{дн}$ - среднедневная заработная плата работника, руб.

Рассчитаем среднедневную заработную плату:

Для 6 – дневной недели (инженер):

$$Z_{он} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} = \frac{38025 \cdot 10,4}{247} = 1601,05 \text{ руб.}; \quad (29)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.

Для руководителя проекта:

$$Z_M = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 19500 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 38025 \text{ руб.} \quad (30)$$

Для инженера:

$$Z_M = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 13600 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 26520 \text{ руб.} \quad (31)$$

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

$k_{ПР}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_D – коэффициент доплат и надбавок, равный 0,2;

k_P – районный коэффициент, равный 1,3 (для г. Томска);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

F_D – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Результаты расчета заработной платы представлены в таблице 17:

Таблица 17 – Расчет основной заработной платы

| Исполнители | $Z_{ТС}$, руб. | $k_{ПР}$ | k_D | k_P | Z_M , руб. | $Z_{дн}$, руб. | T_p , раб. дн. | $Z_{осн}$, руб. |
|----------------------|-----------------|----------|-------|-------|--------------|-----------------|------------------|------------------|
| Руководитель проекта | 19500 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 38025 | 1601,05 | 6 | 9606,3 |
| Инженер | 13600 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 26520 | 1116,63 | 44 | 49133,04 |
| Итого | | | | | | | | 58739,34 |

Найдем дополнительную заработную плату руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 9606,3 = 1390,945 \text{ руб.} \quad (32)$$

Для инженера величина дополнительной заработной платы будет составлять:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 49133,04 = 7369,956 \text{ руб.} \quad (33)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый равным 0,15.

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера и руководителя

определяются по формуле:

$$Z_{внеб}^{инж} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (49133,04 + 7369,956) = 15312,31 \text{ руб}; \quad (34)$$

$$Z_{внеб}^{рук} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (9606,3 + 1440,945) = 2993,8 \text{ руб}. \quad (35)$$

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

Определим накладные расходы. Накладные расходы – это прочие затраты организации. Определим накладные расходы руководителя и инженера:

$$Z_{накл}^{рук} = k_{нр} \cdot (\text{сумма статей } 1 / 7) = 0,16 \cdot (1888,9 + 9606,3 + 1440,945 + 2993,8) = 2548,79 \text{ руб}. \quad (36)$$

$$Z_{накл}^{инж} = k_{нр} \cdot (\text{сумма статей } 1 / 7) = 0,16 \cdot (1888,9 + 49133,04 + 7369,956 + 15312,31) = 11792,673 \text{ руб}. \quad (37)$$

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

Рассчитанная величина затрат ВКР является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на ВКР представлено в таблице 18.

Таблица 18 – Бюджет затрат ВКР

| Статья затрат | Сумма затрат, руб. | % от общей суммы затрат на ВКР |
|---|--------------------|--------------------------------|
| Затраты по основной заработной плате исполнителей проекта | 58739,34 | 57,93 |
| Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта | 8810,901 | 8,69 |
| Отчисления во внебюджетные фонды | 18306,11 | 18,04 |
| Амортизация | 1222,22 | 1,2 |
| Накладные расходы | 14341,463 | 14,14 |
| Итоговый бюджет затрат ВКР | 101420,031 | 100 |

Бюджет затрат ВКР составил 101420,031 рублей. Основной процент бюджета затрат ВКР составляет основная заработная плата исполнителей проекта – 57,93 %, а самый малый процент занимает

амортизация – 1,2 %.

3.6 Определение эффективности научного исследования

Определение эффективности определяется на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Он находится из расчета двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат нескольких вариантов исполнения научного исследования. Для того наибольший интегральный показатель реализации технического задания берется за базу (знаменатель), к которому относят финансовые значения по оставшимся вариантам исполнения. Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (38)$$

Где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ - интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} - стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} - максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Пример расчета:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{101420,034}{121110,056} = 0,837, \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{121110,056}{121110,056} = 1 \quad (39)$$

Полученная величина интегрального финансового показателя отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения исследования определяется следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (40)$$

где I_{pi} - интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения исследования;

a_i - весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p - балльная оценка i -го варианта исполнения исследования,

устанавливается, экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 19.

Таблица 19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения исследования

| Критерии | Весовой коэффициент параметра | Исполнение 1 | Исполнение 2 |
|--|-------------------------------|--------------|--------------|
| Способствует росту производительности труда пользователя | 0,1 | 4 | 5 |
| Удобство в моделировании | 0,4 | 5 | 4 |
| Точность итоговой модели | 0,3 | 3 | 5 |
| Объем вводимых данных | 0,2 | 5 | 4 |
| ИТОГО | 1 | | |

Пример расчета:

$$I_{p-исн1} = 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,2 = 4,3; \quad (41)$$

$$I_{p-исн2} = 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,2 = 4,4.$$

Интегральный показатель эффективности исполнения исследования определяется по результатам расчета интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя следующим образом:

$$I_{исн1} = \frac{I_{p-исн1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исн2} = \frac{I_{p-исн2}}{I_{финр.2}}. \quad (42)$$

Пример расчета

$$I_{исн1} = \frac{4,3}{1} = 4,3; \quad I_{исн2} = \frac{4,4}{0,837} = 5,257 \quad (43)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения исследования помогает определить сравнительную эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}}. \quad (44)$$

Пример расчета:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{4,3}{5,257} = 0,818. \quad (45)$$

Итог анализа сравнительной эффективности разработки представлен в таблице 20.

Таблица 20 – Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели | Исп. 1 | Исп. 2 |
|-------|---|--------|--------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки | 1 | 0,837 |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,3 | 4,4 |
| 3 | Интегральный показатель эффективности | 4,3 | 5,257 |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения | 0,818 | |

Сравнение интегральных показателей эффективности дает понять о превосходящей эффективности исследования второго варианта исполнения – с использованием динамических характеристик нагрузки, с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

3.7 Выводы по разделу

В ходе выполнения данного раздела были решены следующие задачи:

- 1) Оценен коммерческий потенциал и перспективность выбранного варианта моделирования электрической нагрузки. Её использование будет более полно отображать реальное поведение нагрузки при динамических возмущениях.
- 2) Составлен план и график работ ВКР.

3) Определен бюджет затрат ВКР: основная и дополнительная заработная плата исполнителей проекта, отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы.

Анализ полученных результатов показывает, что ввод данной модели электрической нагрузки является конкурентоспособным и отвечает современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.