

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

Факультет энергетический  
Кафедра энергетики  
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Направленность (профиль) программы «электроэнергетические системы и сети»

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ**

И.о. зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Н.В. Савина

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Развитие электрических сетей напряжением 35-110 кВ в районе города Артём Приморского края

Исполнитель  
студент группы 242об-3

\_\_\_\_\_

подпись, дата

М. С. Помазков  
И.О.Ф.

Руководитель  
профессор, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Ю. В. Мясоедов  
И.О.Ф.

Нормоконтроль  
доцент, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А. Н. Козлов  
И.О.Ф.

Благовещенск 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования

**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

Факультет энергетический  
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

И.о. зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Н.В. Савина

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**З А Д А Н И Е**

К выпускной квалификационной работе студента \_\_\_\_\_

1. Тема выпускной квалификационной работы: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

(утверждено приказом от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) \_\_\_\_\_

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

\_\_\_\_\_

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

7. Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Руководитель выпускной квалификационной работы: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): \_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Дипломный проект содержит 157 с., 8 рисунков, 40 таблиц, 97 формул, 10 приложений

РЕЖИМ, СИЛОВОЙ ТРАНСФОРМАТОР, КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ, ПОДСТАНЦИЯ, ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, ОГРАНИЧИТЕЛЬ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ, КОМПЛЕКТНОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, ВОЗДУШНАЯ ЛИНИЯ, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, НАДЕЖНОСТЬ, МОЛНИЕЗАЩИТА, ЗАЗЕМЛЕНИЕ, ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

В данном дипломном проекте выполнено развитие сети 35 и 100 кВ в районе города Артёма Приморского края. Обоснована схема и оборудование распределительного устройства подстанции. Произведён расчёт рабочих токов нормального режима, аварийного, а так же токов КЗ. Произведён выбор основного электрического оборудования рассматриваемой подстанции. Выбраны уставки релейной защиты подстанции. Произведён расчёт надёжности электроснабжения ПС «Шахтовая». Спроектирована молниезащита ПС «Шахтовая».

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВН – высокое напряжение;

НН – низкое напряжение;

КЗ – короткое замыкание;

ПС – подстанция;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция

ВЛ – воздушная линия;

РЗ и А – релейная защита и автоматика;

ОПН – ограничитель перенапряжения;

КРУ – комплектное распределительное устройство

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Введение   | 7  |
| 1 Анализ электрических сетей рассматриваемого района                   | 9  |
| 1.1 Климато-географическая характеристика района                       | 9  |
| 1.2 Характеристика источников питания района                           | 11 |
| 1.3 Характеристика электрических сетей района                          | 13 |
| 1.4 Анализ существующих режимов  | 13 |
| 2 Разработка вариантов реконструкции                                   | 28 |
| 2.1 Расчёт и прогнозирование электрических нагрузок                    | 28 |
| 2.2 Анализ перспективного режима                                       | 30 |
| 2.3 Разработка и технический анализ вариантов реконструкции            | 35 |
| 2.4 Выбор сечений линий электропередачи и их конструктивное исполнение | 43 |
| 2.5 Выбор мощности силового трансформатора                             | 46 |
| 3 Расчет токов короткого замыкания                                     | 49 |
| 4 Выбор оборудования подстанции «шахтовая»                             | 59 |
| 4.1 Выбор выключателей   | 60 |
| 4.2 Выбор разъединителей   | 67 |
| 4.3 Выбор трансформаторов тока   | 68 |
| 4.4 Выбор трансформаторов напряжения                                   | 73 |
| 4.5 Расчёт гибкой ошиновки   | 75 |
| 4.6 Выбор нелинейных ограничителей перенапряжения                      | 76 |
| 5 Релейная защита и автоматика подстанции «Шахтовая»                   | 79 |
| 5.1 Назначение и основные типы защиты трансформаторов                  | 79 |
| 5.2 Продольная дифференциальная токовая защита                         | 81 |
| 5.3 Максимальная токовая защита  | 84 |
| 5.5 Газовая защита   | 87 |
| 6 Расчёт молниезащиты и заземления подстанции «Шахтовая»               | 89 |
| 6.1 Расчёт заземления подстанции «Шахтовая»                            | 89 |
| 6.2 Расчёт молниезащиты подстанции «Шахтовая»                          | 95 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 7     | Оценка надежности электроснабжения  | 98  |
| 7.1   | Оценка надёжности электроснабжения потребителей пс «шахтовая»   | 98  |
| 7.2   | Алгоритм расчёта надёжности схемы подстанции «шахтовая»   | 100 |
| 8     | Безопасность и экологичность  | 107 |
| 8.1   | Техника безопасности при производстве работ в устройствах релейной защиты, автоматики и телемеханики                      | 107 |
| 8.1.1 | Требования к персоналу, выполняющему электромонтажные и наладочные работы   | 107 |
| 8.1.2 | Техника безопасности и противопожарная техника при монтаже и наладке устройств релейной защиты, автоматики и телемеханики | 108 |
| 8.1.3 | Пусконаладочные работы  | 110 |
| 8.1.4 | Требования к качеству работ, сдаче и приёмке вторичных устройств в эксплуатацию   | 113 |
| 8.2.  | Экологичность проекта   | 114 |
| 8.3.  | Чрезвычайные ситуации   | 116 |
|       | Заключение  | 119 |
|       | Библиографический список  | 120 |
|       | Приложение А Прогнозирование нагрузок   | 123 |
|       | Приложение Б Расчёт силовых трансформаторов   | 133 |
|       | Приложение В Расчёт сечения ЛЭП   | 135 |
|       | Приложение Г Расчёт токов КЗ  | 136 |
|       | Приложение Д Выбор оборудования   | 139 |
|       | Приложение Е Расчёт уставок релейной защиты   | 141 |
|       | Приложение Ж Расчёт заземлителя и молниезащиты  | 142 |
|       | Приложение З Оценка надежности  | 145 |
|       | Приложение И Моделирование сети при помощи ПК RastrWin3   | 146 |
|       | Приложение К Расчёт токов КЗ при помощи ПК RastrWin3  | 158 |

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире развитие технологий происходит очень стремительными темпами, количество и качество товаров возрастает с каждым годом. Но для создания данных товаров и услуг необходимы производственные мощности, которые должны удовлетворять запросам потребителей. В связи с этим энергоёмкость производства так же возрастает с большой скоростью, и для его снабжения необходимо развивать питающие сети городов и крупных заводов.

Поэтому для выпускной квалификационной работы был выбран интенсивно развивающийся регион страны – Приморский край, а именно – город Артём. В данной выпускной квалификационной работе будет рассматриваться развитие сети 35-110 кВ, которая включает в себя 12 подстанций. Питание сетей 35 и 110 кВ данного района осуществляется от Артёмовской ТЭЦ. На территории приведённого города находятся заводы металлообрабатывающей, строительной, пищевой, топливной промышленности, Артёмовская ТЭЦ. Общественный транспорт города преимущественно представлен автобусами, в границе города расположен аэропорт и 8 железнодорожных станций.

Исходные данные проекта: данные по загрузке трансформаторов подстанций «Артёмовская», «Угловая», «Западная», «Шахта-7», «Птицефабрика», «Шахтовая», «Трикотажная», «Кролевцы», «Заводская», данные о загрузке линий электропередачи 35-110 кВ, схема сети Приморской энергосистемы, данные о марке проводов ЛЭП.

Актуальность данной темы состоит в том, что состояние существующей сети в настоящее время не может обеспечивать экономичную работу, не в состоянии обеспечивать электроснабжение потребителей с требуемым качеством электроэнергии, а также обеспечивает электроснабжение с требуемой степенью надёжности. В аварийных режимах данной сети возможны

перерывы в электроснабжении большого количества потребителей электрической энергии.

В связи с вышесказанным можно утверждать о старении электрической сети, неудовлетворительном её состоянии и необходимости проведения развития данного района.

Анализируя исходные данные, следует сказать, что на подстанциях установлено устаревшее оборудование, имеются неудобства с точки зрения эксплуатации при оперативных переключениях.

В ходе дипломного проекта необходимо будет составить вариант схемы электрической сети, который будет конкурентно способен по техническим и экономическим показателям. Из разработанных вариантов подключения сети выбирается наиболее конкурентно-способный вариант.

В ходе проектирования перспективной сети необходимо решить следующие задачи:

- разработка вариантов реконструкции сети 35 и 110 кВ для улучшения показателей надёжности данных сетей;
- расчёт и анализ установившихся режимов;
- прогнозирование нагрузки;
- выбор числа и мощности силовых трансформаторов и главных электрических схем подстанций;
- выбор и проверка основного электрооборудования 110 и 6 кВ для подстанции «Шахтовая»;
- проектирование защитных заземлений и систем молниезащиты ПС «Шахтовая»;
- расчёт надёжности ПС «Шахтовая»;
- определение необходимых объёмов релейной защиты и автоматики, расчёт уставок основных защит линии на подстанции «Шахтовая».

# 1 АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ РАССМАТРИВАЕМОГО РАЙОНА

## 1.1 Климато-географическая характеристика района

Приморский край расположен на юге Дальнего востока. В юго-восточной части район граничит с Хабаровским краем, на западе имеет границу с Китайской Народной Республикой, на юго-западе – с Корейской Народно-Демократической Республикой. С юга и востока Приморский край омывается Японским морем. Площадь края составляет 164673 км<sup>2</sup>, что, примерно, составляет 0,96% от площади Российской Федерации. Самой высокой точка Приморского края – 1993 м, расположенная на горе Аник у границы с Хабаровским краем. Самая низкая – это побережье Японского моря.

Климат в рассматриваемом районе умеренный муссонный. Зима сухая и холодная с преобладанием ясных дней, на побережье нередко оттепели. Летом выпадает максимальное количество осадков, в некоторых районах выпадает до 90% годовой суммы осадков. Так же летом преобладают юго-восточные ветра с Тихого океана. Осень сухая, солнечная и тёплая. Основная особенность района – обильные осадки и туман в летний период года

Среднегодовая температура составляет от –1 °С, до +7 °С. Абсолютный максимум края составляет +41 °С, а абсолютный минимум –48,8 °С. Самые холодные месяца данного района – декабрь, январь и февраль. Средняя температура января находится в пределах от –8 °С, до –14 °С. Самые же тёплые – июнь, июль, август.

Большое количество влаги летом способствует сильному развитию растительного покрова. Продолжительность безморозного периода составляет приблизительно 150 – 200 дней. По количеству солнечной энергии Приморский край занимает второе место среди районов Российской федерации. В данном регионе 310 солнечных дней в года, а продолжительность солнечного сияния составляет чуть более 2000 часов в году.

На рисунке 1 изображено географическое положения Приморского края.



Рисунок 1 – Географическое положение Приморского края

Рассматриваемая сеть находится на юге Приморского края. Характеристики данного района сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Климатические условия района

| Климатические условия                        | Справочная величина |
|--|---------------------|
| 1  | 2                   |
| Район по ветровому давлению                  | IV                  |
| Район по гололёду                            | IV                  |
| Толщина стенки гололёда, мм                  | 15                  |
| Средняя максимальная температура воздуха, °С | -21                 |
| Средняя минимальная температура воздуха, °С  | +21                 |
| Число грозных часов в год, ч/год             | 10 – 20             |
| Среднегодовая влажность воздуха, %           | 71                  |

### **1.2 Характеристика источников питания района**

Электроснабжение Приморского края почти полностью обеспечивается из Приморской энергосистемы. Данный район имеет 6 тепловых электростанций. На территории Приморского края проходит системообразующие сети напряжением 500 и 220 кВ. Данные сети принадлежат ПАО «ФСК ЕЭС» и обслуживаются они филиалом ОАО «МЭС Востока». Распределение электроэнергии потребителям осуществляется на напряжении 10-35-110 кВ, принадлежащее филиалу ОАО «ДРСК» и обслуживаются они его филиалом – «Приморские электрические сети».

Энергосистема Приморского края электрически связана с энергосистемой Хабаровского края на трёх уровнях напряжения: 110 кВ (ВЛ Приморская ГРЭС

– Хецир), 220 кВ (двухцепная ВЛ Приморская ГРЭС – Хецир с промежуточной ПС 220 кВ) и 500 кВ (ВЛ Приморская ГРЭС – Хабаровская).

Питающей станцией в районе города Артём является Артёмовская ТЭЦ, от которой отходят линии электропередачи напряжением 35 и 110 кВ. Артёмовская ТЭЦ принадлежит филиалу «Приморская генерация» АО «Дальневосточная генерирующая компания». Данная станция является одной из старейших станций Дальнего Востока. Ввод станции в эксплуатацию был произведён в 1936 году в ранге ГРЭС. Станция обеспечивает около 40% потребности региона в электрической энергии и является единственным источником централизованного теплоснабжения в городе Артёме.

Производственные показатели:

- Электрическая мощность: 400 МВт;
- Тепловая мощность: 297 Гкал/час;
- Вид топлива: уголь.

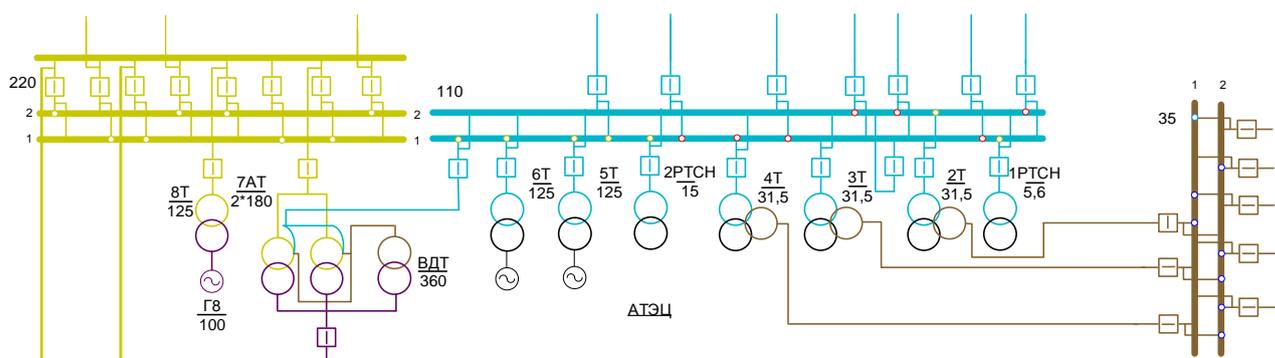


Рисунок 2 – Однолинейная схема Артёмовской ТЭЦ

ПС «Владивосток» - электрическая подстанция 500 кВ в Приморском крае. Данная подстанция введена в эксплуатацию в декабре 2009 года. Ввод в работу энергообъекта значительно повысил надёжность электроснабжения, сделал более благоприятными режимы работы сетей юга Приморского края. На данной ПС группа АТ марки АОДЦТН-167000/500/220. Однолинейная схема подстанции «Владивосток» представлена на рисунке 3.

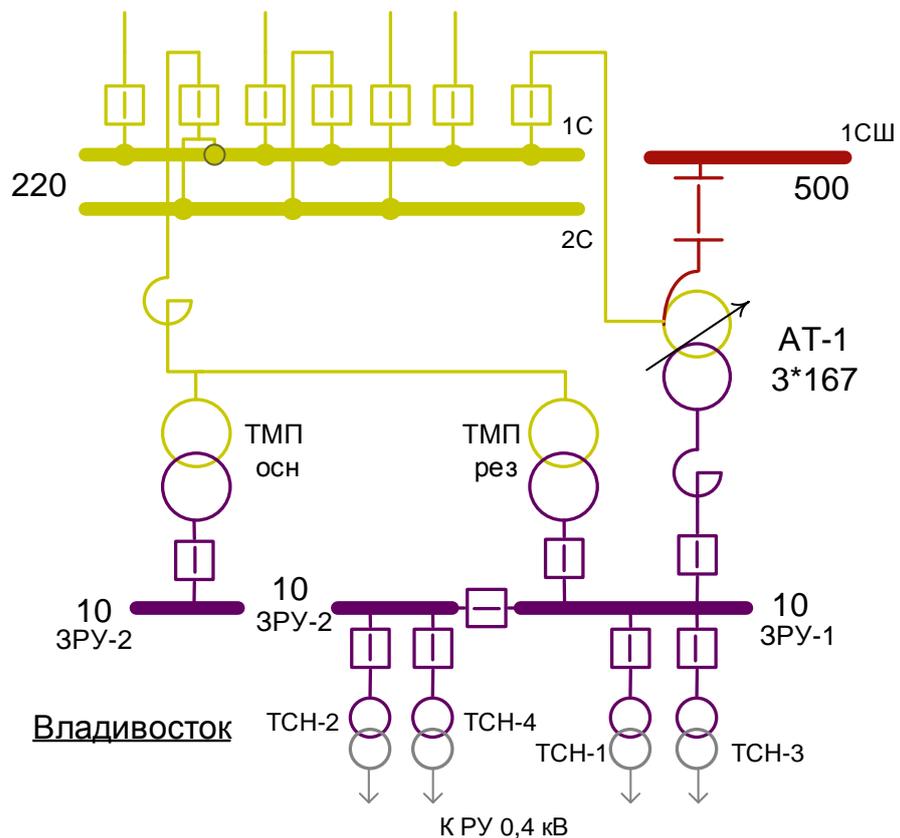


Рисунок 3 – Однолинейная схема ПС «Владивосток»

### 1.3 Характеристика электрических сетей района

Характерной особенностью сетей Дальнего Востока, а в частности, Приморского края, является большая их протяжённость и удалённость крупных генерирующих станций от центра электрических нагрузок.

Анализируя контрольную ведомость о загрузке линий 35-110 кВ города Артём, можно сделать вывод о недостаточной пропускной способности большинства линий электропередачи. Это выражается в превышении экономически-эффективной плотности тока, что в конечном итоге приводит к большому количеству потерь электрической энергии. Из рассмотренных нами 13 линий электропередачи 110 кВ, 7 превышает экономически-эффективную плотность тока, более чем в 3 раза. Подобная ситуация наблюдается и с линиями напряжением 35 кВ: из 21 ЛЭП – 6 превышает данное значение.

### 1.4 Анализ существующих режимов

Электрическая сеть рассматриваемого района филиала ОАО «ДРСК» «Приморские электрические сети» включает в себя 3 ПС 110 кВ: «Западная»,

«Шахта-7», «Кролевцы», и 9 ПС 35 кВ: «Заводская», «Угловая», «Артёмовская», «Ключевая», «Шахтовая», «Трикоотажная», «Мебельная», «Касатка», Птицефабрика».

Все ЛЭП имеют относительно небольшую протяжённость, максимальная длина линии составляет 37,5 километров на промежутке от «Артёмовской ТЭЦ» до ПС «Западная». Двухцепное исполнение имеют только две линии: «Артёмовская ТЭЦ – Западная» и «Западная – Заводская». Все ВЛ рассматриваемые в данной выпускной квалификационной работе, их протяжённость и места подключения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики рассматриваемых воздушных линий

| ЛЭП                   |              | Длина, км         | U, кВ | Марка провода   |
|-----------------------|--------------|-------------------|-------|-----------------|
| Начало                | Конец        |                   |       |                 |
| 1                     | 2            | 3                 | 4     | 5               |
| Артёмовская ТЭЦ       | Западная     | 37,5              | 110   | 2×АС-150        |
| Отпайка АТЭЦ-Западная | Кролевцы     | 1,626             | 110   | 2×АС-150        |
| Западная              | Шахта-7      | 5,4/0,6           | 110   | М-70/АС-120     |
| Артёмовская ТЭЦ       | Шахта-7      | 14                | 110   | М-70            |
| Артёмовская ТЭЦ       | Мебельная    | 5,3               | 35    | АС-300          |
| Трикоотажная          | Шахтовая     | 0,3/1,05          | 35    | АС-300/М-70     |
| Артёмовская ТЭЦ       | Шахтовая     | 0,3/1,05          | 35    | АС-300/М-70     |
| Шахтовая              | Артёмовская  | 2,548/0,3         | 35    | М-70/АС-70      |
| Артёмовская           | Ключевая     | 4,07              | 35    | АС-50           |
| Западная              | Артёмовская  | 0,564/0,058/0,562 | 35    | М-70/АС-70/М-70 |
| Западная              | Заводская    | 3                 | 35    | 2×АС-240        |
| Заводская             | Угловая      | 0,54/2,48         | 35    | АС-240/М-70     |
| Ключевая              | Касатка      | 2,18              | 35    | АС-50           |
| Кролевцы              | Касатка      | 10                | 35    | АС-70           |
| Кролевцы              | Птицефабрика | 5,7               | 35    | АС-70           |
| Артёмовская ТЭЦ       | Птицефабрика | 4                 | 35    | АС-70           |

По данным контрольных замеров выполним анализ установившихся режимов электрической сети в районе города Артём. В данной работе расчёт

режима сети проводится при помощи программно-вычислительного комплекса RastrWin3.

Режим сети – это такое состояние системы, которое определено значениями мощностей электростанций, токов, напряжений, а так же других величин, которые характеризуют процесс производства, передачи и распределения электроэнергии. Для выполнения данного анализа необходимо подготовить исходную информацию. Данными для выполнения анализа являются параметры схемы замещения сети. Расчёт режима сети позволит максимально приблизиться к реальной ситуации в данном районе, и получить необходимые характеристики: перетечи активной и реактивной мощности, уровни напряжения, потери в элементах сети и т.д.

Для расчёта установившегося режима необходимы рассчитать параметры составляющих элементов сети. Данными параметрами являются: активное и индуктивное сопротивление, ёмкостная проводимость линии, активное и индуктивное сопротивление трансформаторов, генерируемая активная и реактивная мощность источника питания и т.д.

Активное сопротивление линии:

$$R_{\text{вл}} = r_0 \cdot l_{\text{вл}}, \quad (1)$$

где  $r_0$  – удельное активное сопротивление линии на 1 км длины, Ом/км;  
 $l_{\text{вл}}$  – длина линии, км.

Индуктивное сопротивление линии:

$$X_{\text{вл}} = x_0 \cdot l_{\text{вл}}, \quad (2)$$

где  $x_0$  – удельное индуктивное сопротивление линии на 1 км длины, Ом/км;  
Реактивная проводимость воздушной линии.

$$B_{\text{вл}} = b_0 \cdot l_{\text{вл}}, \quad (3)$$

где  $b_0$  – удельное ёмкостная проводимость линии на 1 км длины, мСм/км.

Силовые трансформаторы в ПВК RastrWin3 вводятся сопротивлением каждой ступени трансформатора, а так же активной и реактивной проводимостью. Помимо этого необходимо указать коэффициенты трансформации идеализированных трансформаторов, которые не имеют сопротивления.

Коэффициент трансформации двухобмоточного трансформатора рассчитываются по формуле:

$$K_{ТН} = \frac{U_{НН}}{U_{ВН}}, \quad (4)$$

где  $U_{ВН}$ ,  $U_{НН}$  – соответственно напряжение высокой, низкой стороны силового трансформатора.

Для трёхобмоточного трансформатора необходимо рассчитать 3 коэффициента трансформации по формулам:

$$K_{ТВ} = \frac{U_{ВН}}{U_{ВН}}, \quad (5)$$

$$K_{ТС} = \frac{U_{СН}}{U_{ВН}}, \quad (6)$$

где  $U_{СН}$  –напряжение средней стороны силового трансформатора.

Третий коэффициент трансформации определяется аналогичным образом, как и для двухобмоточного трансформатора по формуле 4.

Схема замещения трехобмоточного силового трансформатора изображена на рисунке 4.

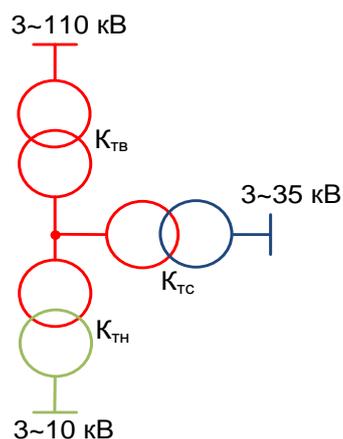


Рисунок 4 – Схема замещения трёхобмоточного трансформатора

В таблицах 3 и 4 отображены исходные данные, которые были рассчитаны для расчёта исходного режима электрической сети. Нагрузки в узлах сети были взяты из ведомости контрольных замеров 2015 года.

Таблица 3 – Параметры узлов схемы замещения

| Тип узла | № узла | Название          | $U_{ном.}$ кВ | $P_n$ , МВт | $Q_n$ , Мвар |
|----------|--------|-------------------|---------------|-------------|--------------|
| 1        | 2      | 3                 | 4             | 5           | 6            |
| Ген      | 1      | АТЭЦ 5Т-6Т НН     | 16            |             |              |
| Нагр     | 2      | АТЭЦ 5Т-6Т ВН     | 110           | 45,5        | 18,2         |
| База     | 3      | АТЭЦ 2Т-4Т ВН     | 110           | 37,3        | 14,9         |
| Нагр     | 4      | АТЭЦ 2Т-4Т о.т.   | 110           |             |              |
| Нагр     | 5      | АТЭЦ 2Т-4Т СН     | 35            | 0,3         | 0,1          |
| Нагр     | 6      | АТЭЦ 2Т-4Т НН     | 6             |             |              |
| Нагр     | 7      | Мебельная 2Т ВН   | 35            |             |              |
| Нагр     | 8      | Мебельная 2Т НН   | 6             | 0,6         | 0,3          |
| Нагр     | 9      | Мебельная 1Т ВН   | 35            |             |              |
| Нагр     | 10     | Мебельная 1Т НН   | 6             | 0,3         | 0,3          |
| Нагр     | 11     | М-70/АС300        | 35            |             |              |
| Нагр     | 12     | Трикотажная 2Т ВН | 35            |             |              |
| Нагр     | 13     | Трикотажная 2Т НН | 6             | 6           | 2,4          |
| Нагр     | 14     | Трикотажная 1Т ВН | 35            |             |              |
| Нагр     | 15     | Трикотажная 1Т НН | 6             |             |              |
| Нагр     | 16     | Шахтовая 1Т ВН    | 35            |             |              |
| Нагр     | 17     | Шахтовая 1Т НН    | 6             | 4,2         | 1,7          |

Продолжение таблицы 3

| 1    | 2  | 3                  | 4   | 5    | 6   |
|------|----|--------------------|-----|------|-----|
| Нагр | 18 | Шахтовая 2Т ВН     | 35  |      |     |
| Нагр | 19 | Шахтовая 2Т НН     | 6   | 5,5  | 2,2 |
| Нагр | 20 | Артёмовская 1Т ВН  | 35  |      |     |
| Нагр | 21 | Артёмовская 1Т НН  | 6   | 8,9  | 3,6 |
| Нагр | 22 | Артёмовская 2Т ВН  | 35  |      |     |
| Нагр | 23 | Артёмовская 2Т НН  | 6   | 9    | 3,6 |
| Нагр | 24 | М-70/АС-70         | 35  |      |     |
| Нагр | 25 | Западная 1Т-2Т СН  | 35  | 6,4  | 2,6 |
| Нагр | 26 | Западная 1Т-2Т НН  | 6   | 9,3  | 3,7 |
| Нагр | 27 | Западная 1Т-2Т о.т | 110 |      |     |
| Нагр | 28 | Западная 1Т-2Т ВН  | 110 | 34,9 | 14  |
| Нагр | 29 | Заводская 1Т ВН    | 35  |      |     |
| Нагр | 30 | Заводская 1Т НН    | 6   | 2,2  | 0,9 |
| Нагр | 31 | Заводская 2Т ВН    | 35  |      |     |
| Нагр | 32 | Заводская 2Т НН    | 6   | 1    | 0,4 |
| Нагр | 33 | АС-240/М-70        | 35  |      |     |
| Нагр | 34 | Угловая 1Т ВН      | 35  |      |     |
| Нагр | 35 | Угловая 1Т НН      | 6   | 7,2  | 2,9 |
| Нагр | 36 | Угловая 2Т ВН      | 35  |      |     |
| Нагр | 37 | Угловая 2Т НН      | 6   | 6,6  | 2,6 |
| Нагр | 38 | Ключевая 1Т ВН     | 35  |      |     |
| Нагр | 39 | Ключевая 1Т НН     | 6   | 0,6  | 0,3 |
| Нагр | 40 | Ключевая 2Т ВН     | 35  |      |     |
| Нагр | 41 | Ключевая 2Т НН     | 6   | 0,6  | 0,3 |
| Нагр | 42 | Касатка 1Т ВН      | 35  |      |     |
| Нагр | 43 | Касатка 1Т НН      | 6   | 1,3  | 0,5 |
| Нагр | 44 | Касатка 2Т ВН      | 35  |      |     |
| Нагр | 45 | Касатка 2Т НН      | 6   | 1,3  | 0,5 |
| Нагр | 46 | Птицефабрика 1Т ВН | 35  |      |     |
| Нагр | 47 | Птицефабрика 1Т НН | 6   | 1,6  | 0,6 |
| Нагр | 48 | Птицефабрика 2Т ВН | 35  |      |     |
| Нагр | 49 | Птицефабрика 2Т НН | 6   | 2    | 0,8 |

| 1    | 2  | 3                   | 4   | 5   | 6   |
|------|----|---------------------|-----|-----|-----|
| Нагр | 50 | Кролевцы 1Т-2Т СН   | 35  | 2,6 | 1,1 |
| Нагр | 51 | Кролевцы 1Т-2Т НН   | 6   | 4,9 | 2   |
| Нагр | 52 | Кролевцы 1Т-2Т о.т. | 110 |     |     |
| Нагр | 53 | Кролевцы 1Т-2Т ВН   | 110 |     |     |
| Нагр | 54 | Отпайка 1 АС-150    | 110 |     |     |
| Нагр | 55 | Отпайка 2 АС-150    | 110 |     |     |
| Нагр | 56 | Шахта-7 1Т ВН       | 110 |     |     |
| Нагр | 57 | Шахта-7 1Т НН       | 6   | 8,8 | 3,5 |
| Нагр | 58 | Шахта-7 2Т ВН       | 110 |     |     |
| Нагр | 59 | Шахта-7 2Т НН       | 6   | 9,6 | 3,8 |

Таблица 4 – Параметры ветвей схемы замещения

| Тип ветви | № узла начала ветви | № узла конца ветви | Название                          | R, Ом | X, Ом | B, Ом | G, Ом | Kт/r  |
|-----------|---------------------|--------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1         | 2                   | 3                  | 4                                 | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
| Тр-р      | 2                   | 1                  | АТЭЦ 5Т-6Т ВН - АТЭЦ 5Т-6Т НН     | 0,1   | 3,85  | 82,6  | 14    | 0,145 |
| Выкл      | 2                   | 3                  | АТЭЦ 5Т-6Т ВН - АТЭЦ 2Т-4Т ВН     |       |       |       |       |       |
| Тр-р      | 3                   | 4                  | АТЭЦ 2Т-4Т ВН - АТЭЦ 2Т-4Т о.т.   | 0,27  | 11,83 | 59,5  | 10,7  | 1     |
| Тр-р      | 4                   | 5                  | АТЭЦ 2Т-4Т о.т. - АТЭЦ 2Т-4Т СН   | 0,27  |       |       |       | 0,318 |
| Тр-р      | 4                   | 6                  | АТЭЦ 2Т-4Т о.т. - АТЭЦ 2Т-4Т НН   | 0,27  | 7,43  |       |       | 0,055 |
| ЛЭП       | 5                   | 7                  | АТЭЦ 2Т-4Т СН - Мебельная 2Т ВН   | 0,52  | 2,27  |       |       |       |
| Тр-р      | 7                   | 8                  | Мебельная 2Т ВН - Мебельная 2Т НН | 4,43  | 21,06 | 49    | 9     | 0,171 |
| Выкл      | 7                   | 9                  | Мебельная 2Т ВН - Мебельная 1Т ВН |       |       |       |       |       |
| Выкл      | 8                   | 10                 | Мебельная 2Т НН - Мебельная 1Т НН |       |       |       |       |       |
| Тр-р      | 9                   | 10                 | Мебельная 1Т ВН - Мебельная 1Т НН | 2,6   | 23    | 32,7  | 5,5   | 0,171 |
| ЛЭП       | 9                   | 11                 | Мебельная 1Т ВН - М-70/АС300      | 0     | 0,11  |       |       |       |
| ЛЭП       | 11                  | 12                 | М-70/АС300 - Трикотажная 2Т ВН    | 0,29  | 0,44  |       |       |       |

Продолжение таблицы 4

| 1    | 2  | 3  | 4   | 5    | 6     | 7    | 8    | 9     |
|------|----|----|---|------|-------|------|------|-------|
| Тр-р | 12 | 13 | Трикотажная 2Т ВН -<br>Трикотажная 2Т НН  | 0,88 | 10,1  | 65,3 | 11,8 | 0,171 |
| Выкл | 12 | 14 | Трикотажная 2Т ВН -<br>Трикотажная 1Т ВН  |      |       |      |      |       |
| Тр-р | 14 | 15 | Трикотажная 1Т ВН -<br>Трикотажная 1Т НН  | 0,88 | 10,1  | 65,3 | 11,8 | 0,171 |
| ЛЭП  | 14 | 16 | Трикотажная 1Т ВН -<br>Шахтовая 1Т ВН     | 0,29 | 0,55  |      |      |       |
| Выкл | 15 | 13 | Трикотажная 1Т НН -<br>Трикотажная 2Т НН  |      |       |      |      |       |
| Тр-р | 16 | 17 | Шахтовая 1Т ВН - Шахтовая<br>1Т НН        | 0,96 | 11,1  | 65,3 | 11,8 | 0,171 |
| ЛЭП  | 16 | 5  | Шахтовая 1Т ВН - АТЭЦ 2Т-<br>4Т СН        | 1,3  | 3,14  |      |      |       |
| Тр-р | 18 | 19 | Шахтовая 2Т ВН - Шахтовая<br>2Т НН        | 0,96 | 11,1  | 65,3 | 11,8 | 0,171 |
| Выкл | 18 | 16 | Шахтовая 2Т ВН - Шахтовая<br>1Т ВН        |      |       |      |      |       |
| ЛЭП  | 18 | 20 | Шахтовая 2Т ВН -<br>Артёмовская 1Т ВН     | 0,82 | 1,2   |      |      |       |
| Выкл | 19 | 17 | Шахтовая 2Т НН - Шахтовая<br>1Т НН        |      |       |      |      |       |
| Тр-р | 20 | 21 | Артёмовская 1Т ВН -<br>Артёмовская 1Т НН  | 0,52 | 7,4   | 78,4 | 17,1 | 0,171 |
| Тр-р | 22 | 23 | Артёмовская 2Т ВН -<br>Артёмовская 2Т НН  | 0,52 | 7,4   | 78,4 | 17,1 | 0,171 |
| Выкл | 22 | 20 | Артёмовская 2Т ВН -<br>Артёмовская 1Т ВН  |      |       |      |      |       |
| ЛЭП  | 22 | 24 | Артёмовская 2Т ВН - М-<br>70/АС-70        | 0,31 | 0,48  |      |      |       |
| ЛЭП  | 22 | 38 | Артёмовская 2Т ВН -<br>Ключевая 1Т ВН     | 2,65 | 1,76  |      |      |       |
| Выкл | 23 | 21 | Артёмовская 2Т НН -<br>Артёмовская 1Т НН  |      |       |      |      |       |
| ЛЭП  | 24 | 25 | М-70/АС-70 - Западная 1Т-2Т<br>СН         | 0,02 | 0,02  |      |      |       |
| ЛЭП  | 25 | 29 | Западная 1Т-2Т СН - Заводская<br>1Т ВН    | 0,36 | 1,15  |      |      |       |
| ЛЭП  | 25 | 31 | Западная 1Т-2Т СН - Заводская<br>2Т ВН    | 0,36 | 1,15  |      |      |       |
| Тр-р | 27 | 26 | Западная 1Т-2Т о.т - Западная<br>1Т-2Т НН | 0,45 | 10,35 |      |      | 0,055 |
| Тр-р | 27 | 25 | Западная 1Т-2Т о.т - Западная<br>1Т-2Т СН | 0,45 |       |      |      | 0,318 |
| Тр-р | 28 | 27 | Западная 1Т-2Т ВН - Западная<br>1Т-2Т о.т | 0,45 | 17,75 | 52,9 | 10,4 | 1     |

Продолжение таблицы 4

| 1    | 2  | 3  | 4                                       | 5    | 6     | 7     | 8    | 9     |
|------|----|----|---|------|-------|-------|------|-------|
| ЛЭП  | 28 | 54 | Западная 1Т-2Т ВН - Отпайка<br>1 АС-150 | 5,43 | 11,51 | -74   |      |       |
| ЛЭП  | 28 | 55 | Западная 1Т-2Т ВН - Отпайка<br>2 АС-150 | 5,43 | 11,51 | -74   |      |       |
| ЛЭП  | 28 | 58 | Западная 1Т-2Т ВН - Шахта-7<br>2Т ВН    | 1,47 | 2,39  | -14,8 |      |       |
| Тр-р | 29 | 30 | Заводская 1Т ВН - Заводская<br>1Т НН    | 1,4  | 14,6  | 46,3  | 7,5  | 0,171 |
| Выкл | 29 | 31 | Заводская 1Т ВН - Заводская<br>2Т ВН    |      |       |       |      |       |
| Выкл | 30 | 32 | Заводская 1Т НН - Заводская<br>2Т НН    |      |       |       |      |       |
| Тр-р | 31 | 32 | Заводская 2Т ВН - Заводская<br>2Т НН    | 1,4  | 14,6  | 46,3  | 7,5  | 0,171 |
| ЛЭП  | 31 | 33 | Заводская 2Т ВН - АС-240/М-<br>70       | 0,06 | 0,21  |       |      |       |
| ЛЭП  | 33 | 34 | АС-240/М-70 - Угловая 1Т ВН             | 0,68 | 1,04  |       |      |       |
| Тр-р | 34 | 35 | Угловая 1Т ВН - Угловая 1Т<br>НН        | 0,96 | 11,1  | 65,3  | 11,8 | 0,171 |
| Выкл | 34 | 36 | Угловая 1Т ВН - Угловая 2Т<br>ВН        |      |       |       |      |       |
| Выкл | 35 | 37 | Угловая 1Т НН - Угловая 2Т<br>НН        |      |       |       |      |       |
| Тр-р | 36 | 37 | Угловая 2Т ВН - Угловая 2Т<br>НН        | 0,96 | 11,1  | 65,3  | 11,8 | 0,171 |
| Тр-р | 38 | 39 | Ключевая 1Т ВН - Ключевая<br>1Т НН      | 2,6  | 23    | 32,7  | 5,5  | 0,171 |
| Выкл | 38 | 40 | Ключевая 1Т ВН - Ключевая<br>2Т ВН      |      |       |       |      |       |
| Тр-р | 40 | 41 | Ключевая 2Т ВН - Ключевая<br>2Т НН      | 2,6  | 23    | 32,7  | 5,5  | 0,171 |
| ЛЭП  | 40 | 42 | Ключевая 2Т ВН - Касатка 1Т<br>ВН       | 1,42 | 0,94  |       |      |       |
| Выкл | 41 | 39 | Ключевая 2Т НН - Ключевая<br>1Т НН      |      |       |       |      |       |
| Тр-р | 42 | 43 | Касатка 1Т ВН - Касатка 1Т<br>НН        | 2,6  | 23    | 32,7  | 5,5  | 0,171 |
| Выкл | 42 | 44 | Касатка 1Т ВН - Касатка 2Т<br>ВН        |      |       |       |      |       |
| Выкл | 43 | 45 | Касатка 1Т НН - Касатка 2Т<br>НН        |      |       |       |      |       |
| Тр-р | 44 | 45 | Касатка 2Т ВН - Касатка 2Т<br>НН        | 2,6  | 23    | 32,7  | 5,5  | 0,171 |
| ЛЭП  | 44 | 50 | Касатка 2Т ВН - Кролевцы 1Т-<br>2Т СН   | 4,28 | 4,2   |       |      |       |

Продолжение таблицы 3

| 1    | 2  | 3  | 4  | 5    | 6     | 7     | 8   | 9     |
|------|----|----|--|------|-------|-------|-----|-------|
| Тр-р | 46 | 47 | Птицефабрика 1Т ВН -<br>Птицефабрика 1Т НН | 1,4  | 14,6  | 46,3  | 7,5 | 0,171 |
| ЛЭП  | 46 | 5  | Птицефабрика 1Т ВН - АТЭЦ<br>2Т-4Т СН      | 1,71 | 1,68  |       |     |       |
| Тр-р | 48 | 49 | Птицефабрика 2Т ВН -<br>Птицефабрика 2Т НН | 1,4  | 14,6  | 46,3  | 7,5 | 0,171 |
| Выкл | 48 | 46 | Птицефабрика 2Т ВН -<br>Птицефабрика 1Т ВН |      |       |       |     |       |
| Выкл | 49 | 47 | Птицефабрика 2Т НН -<br>Птицефабрика 1Т НН |      |       |       |     |       |
| ЛЭП  | 50 | 48 | Кролевцы 1Т-2Т СН -<br>Птицефабрика 2Т ВН  | 2,44 | 2,39  |       |     |       |
| Тр-р | 52 | 50 | Кролевцы 1Т-2Т о.т. -<br>Кролевцы 1Т-2Т СН | 0,75 |       |       |     | 0,318 |
| Тр-р | 52 | 51 | Кролевцы 1Т-2Т о.т. -<br>Кролевцы 1Т-2Т НН | 0,75 | 17,85 |       |     | 0,055 |
| Тр-р | 53 | 52 | Кролевцы 1Т-2Т ВН -<br>Кролевцы 1Т-2Т о.т. | 0,75 | 28,45 | 28,9  | 5,1 | 1     |
| ЛЭП  | 53 | 54 | Кролевцы 1Т-2Т ВН - Отпайка<br>1 АС-150    | 0,32 | 0,68  | -4,4  |     |       |
| ЛЭП  | 53 | 55 | Кролевцы 1Т-2Т ВН - Отпайка<br>2 АС-150    | 0,32 | 0,68  | -4,4  |     |       |
| ЛЭП  | 54 | 3  | Отпайка 1 АС-150 - АТЭЦ 2Т-<br>4Т ВН       | 1,47 | 3,11  | -20   |     |       |
| ЛЭП  | 55 | 3  | Отпайка 2 АС-150 - АТЭЦ 2Т-<br>4Т ВН       | 1,5  | 3,19  | -20,5 |     |       |
| Тр-р | 56 | 57 | Шахта-7 1Т ВН - Шахта-7 1Т<br>НН           | 4,38 | 86,7  | 9,3   | 1,6 | 0,055 |
| ЛЭП  | 56 | 3  | Шахта-7 1Т ВН - АТЭЦ 2Т-4Т<br>ВН           | 3,81 | 6,19  | -37,8 |     |       |
| Тр-р | 58 | 59 | Шахта-7 2Т ВН - Шахта-7 2Т<br>НН           | 4,38 | 86,7  | 9,3   | 1,6 | 0,055 |
| Выкл | 58 | 56 | Шахта-7 2Т ВН - Шахта-7 1Т<br>ВН           |      |       |       |     |       |
| Выкл | 59 | 57 | Шахта-7 2Т НН - Шахта-7 1Т<br>НН           |      |       |       |     |       |

Расчёт нормального режима осуществляется для оценки возможности качественного и надёжного электроснабжения потребителей. В нормальном режиме включено все необходимое оборудование для осуществления наиболее экономичной передачи электроэнергии до потребителя. Следует отметить, что в таблице 7 отображены только те узлы, отклонение напряжения в которых превышает  $\pm 5\%$

В таблице 5 и 6 соответственно представлены рассчитанные данные о токах, протекающие по линиям электропередачи моделируемого участка сети, и отклонение напряжения в узлах электрической сети

Таблица 5 – Значения токов, протекающие по ЛЭП

| № узла<br>начала<br>ветви | № узла<br>конца<br>ветви | Марка провода | Длительно-<br>допустимый<br>ток, А | Ток в начале<br>ЛЭП, А | Ток в конце<br>ЛЭП, А |
|---------------------------|--------------------------|---------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 1                         | 2                        | 3             | 4                                  | 5                      | 6                     |
| 5                         | 7                        | АС-300        | 690                                | 120                    | 120                   |
| 9                         | 12                       | АС-300/М-70   | 690                                | 103                    | 103                   |
| 14                        | 16                       | АС-300/М-70   | 690                                | 0                      | 0                     |
| 18                        | 20                       | М-70/АС-70    | 342                                | 320                    | 320                   |
| 22                        | 25                       | М-70/АС-70    | 342                                | 0                      | 0                     |
| 25                        | 29                       | АС-240        | 610                                | 39                     | 39                    |
| 31                        | 34                       | АС-240/М-70   | 610                                | 252                    | 252                   |
| 22                        | 38                       | АС-50         | 215                                | 12                     | 12                    |
| 16                        | 5                        | АС-185        | 510                                | 495                    | 495                   |
| 40                        | 42                       | АС-50         | 215                                | 11                     | 11                    |
| 44                        | 50                       | АС-70         | 265                                | 56                     | 56                    |
| 50                        | 48                       | АС-70         | 265                                | 0                      | 0                     |
| 46                        | 5                        | АС-70         | 265                                | 61                     | 61                    |
| 53                        | 54                       | АС-150        | 450                                | 31                     | 31                    |
| 53                        | 55                       | АС-150        | 450                                | 28                     | 28                    |
| 28                        | 54                       | АС-150        | 450                                | 121                    | 119                   |
| 54                        | 3                        | АС-150        | 450                                | 150                    | 149                   |
| 28                        | 55                       | АС-150        | 450                                | 121                    | 119                   |
| 55                        | 3                        | АС-150        | 450                                | 146                    | 146                   |
| 28                        | 58                       | М-70          | 342                                | 130                    | 130                   |
| 56                        | 3                        | М-70          | 342                                | 303                    | 302                   |
| 25                        | 31                       | АС-240        | 610                                | 270                    | 270                   |

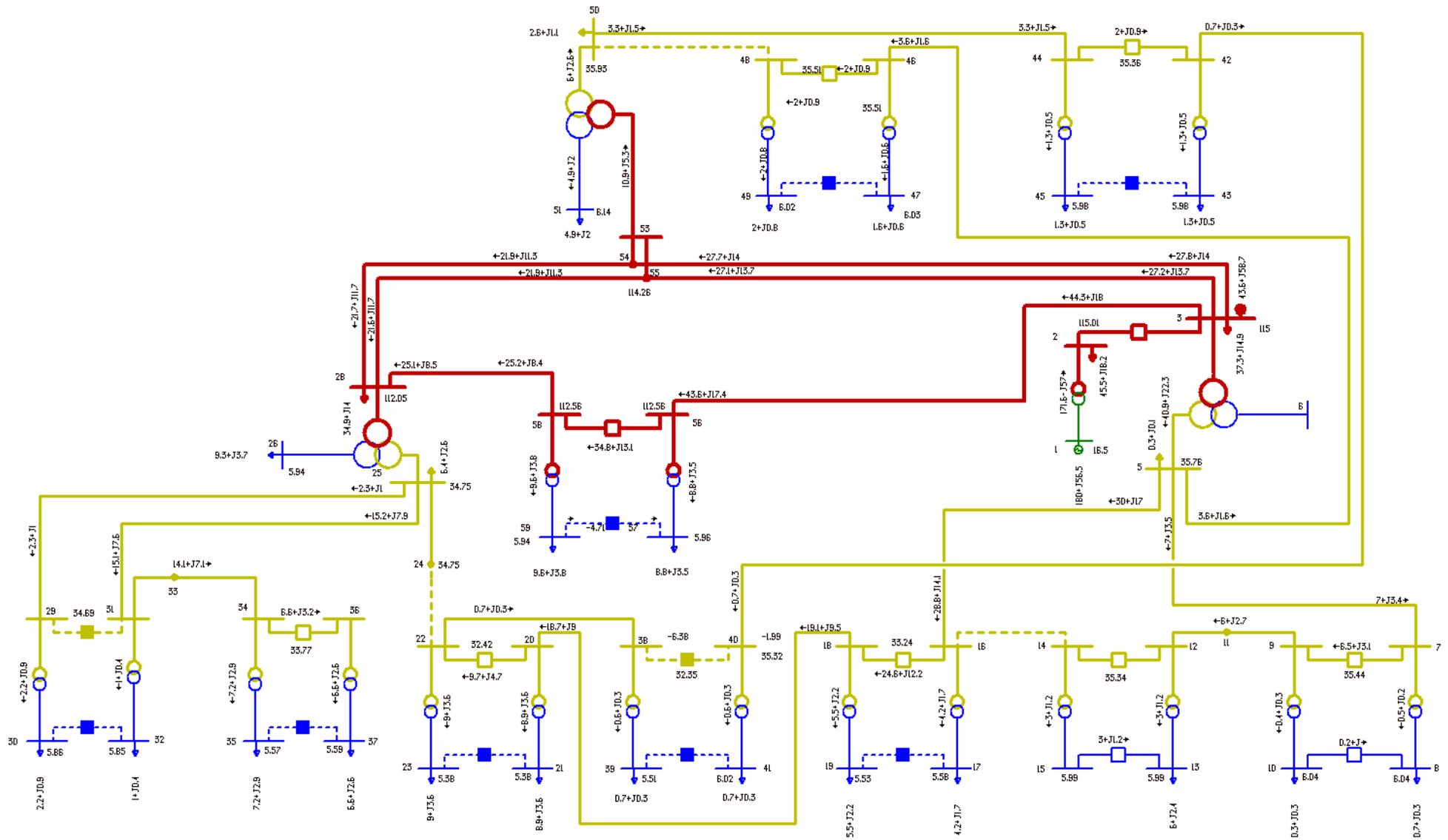
Таблица 6 – Отклонение напряжения в узлах сети

| № узла | Название узла       | $U_{ном}$ , кВ | $U_{факт}$ , кВ | Отклонение напряжения, % |
|--------|---------------------|----------------|-----------------|--------------------------|
| 1      | 2                   | 3              | 4               | 5                        |
| 1      | АТЭЦ 5Т-6Т НН       | 16             | 16,97           | 6,04                     |
| 2      | АТЭЦ 5Т-6Т ВН       | 110            | 119,95          | 9,04                     |
| 3      | АТЭЦ 2Т-4Т ВН       | 110            | 120             | 9,09                     |
| 4      | АТЭЦ 2Т-4Т о.т.     | 110            | 117,81          | 7,1                      |
| 5      | АТЭЦ 2Т-4Т СН       | 35             | 37,46           | 7,02                     |
| 6      | АТЭЦ 2Т-4Т НН       | 6              | 6,43            | 7,1                      |
| 7      | Мебельная 2Т ВН     | 35             | 37,15           | 6,14                     |
| 8      | Мебельная 2Т НН     | 6              | 6,33            | 5,57                     |
| 9      | Мебельная 1Т ВН     | 35             | 37,15           | 6,14                     |
| 10     | Мебельная 1Т НН     | 6              | 6,33            | 5,57                     |
| 12     | Трикотажная 2Т ВН   | 35             | 37,06           | 5,89                     |
| 14     | Трикотажная 1Т ВН   | 35             | 37,06           | 5,89                     |
| 28     | Западная 1Т-2Т ВН   | 110            | 117,2           | 6,54                     |
| 40     | Ключевая 2Т ВН      | 35             | 36,97           | 5,63                     |
| 41     | Ключевая 2Т НН      | 6              | 6,3             | 5,03                     |
| 42     | Касатка 1Т ВН       | 35             | 37              | 5,72                     |
| 44     | Касатка 2Т ВН       | 35             | 37              | 5,72                     |
| 46     | Птицефабрика 1Т ВН  | 35             | 37,22           | 6,34                     |
| 47     | Птицефабрика 1Т НН  | 6              | 6,33            | 5,45                     |
| 48     | Птицефабрика 2Т ВН  | 35             | 37,22           | 6,34                     |
| 49     | Птицефабрика 2Т НН  | 6              | 6,31            | 5,21                     |
| 50     | Кролевцы 1Т-2Т СН   | 35             | 37,55           | 7,3                      |
| 51     | Кролевцы 1Т-2Т НН   | 6              | 6,42            | 7,03                     |
| 52     | Кролевцы 1Т-2Т о.т. | 110            | 118,07          | 7,33                     |
| 53     | Кролевцы 1Т-2Т ВН   | 110            | 119,27          | 8,43                     |
| 54     | Отпайка 1 АС-150    | 110            | 119,3           | 8,46                     |
| 55     | Отпайка 2 АС-150    | 110            | 119,3           | 8,45                     |
| 56     | Шахта-7 1Т ВН       | 110            | 117,69          | 6,99                     |
| 58     | Шахта-7 2Т ВН       | 110            | 117,68          | 6,98                     |

Из результатов расчётов нормального режима эквивалента сети, производимого в данной выпускной квалификационной работе можно сделать

вывод о плохом состоянии некоторых промежутков электрической сети. Например, линии электропередачи Артёмовская ТЭЦ – Шахтовая и Шахтовая – Артёмовская в скором времени будут не в состоянии пропускать необходимый переток мощности, т.к. фактическое значение тока приближается к длительно допустимому значению для существующего провода.

На рисунке 5 представлено графическое изображение сети с потоками мощности, полученное при помощи ПК RastrWin3.



## Рисунок 5 – Графическое изображение района сети

## 2 РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ

### 2.1 Расчёт и прогнозирование электрических нагрузок

Необходимым пунктом для развития электрической сети является оценка возрастания нагрузки с течением времени в связи с подключением новых потребителей электрической энергии. Прогноз на возрастание электрической нагрузки можно выполнить при помощи формул сложных процентов.

Средняя прогнозируемая мощность определяется по формуле:

$$P_{\text{ср}}^{\text{прог}} = P_{\text{ср}}^{\text{б}} \cdot (1 + \varepsilon)^{t_{\text{прог}} - t_{\text{б}}}, \quad (7)$$

где  $P_{\text{ср}}^{\text{б}}$  – средняя мощность за текущий год;

$\varepsilon$  – относительный прирост электрической нагрузки (для приморского края  $\varepsilon = 2,5$ );

$t_{\text{прог}}$  – год, на который определяется электрическая нагрузка

$t_{\text{б}}$  – год начала отсчёта.

Эффективная и максимальная прогнозируемые мощности определяются по формулам:

$$P_{\text{эф}}^{\text{прог}} = P_{\text{ср}}^{\text{прог}} \cdot k_{\text{ф}}, \quad (8)$$

$$P_{\text{max}}^{\text{прог}} = P_{\text{ср}}^{\text{прог}} \cdot k_{\text{m}}, \quad (9)$$

где  $k_{\text{m}}$  – коэффициент максимума нагрузки;

$k_{\text{ф}}$  – коэффициент формы.

Расчёт прогнозируемых реактивных мощностей осуществляется аналогичным образом.

Расчёт данных статических вероятностных характеристик производит по следующему алгоритму:

- производится прогнозирование средних нагрузок;
- определяются остальные прогнозируемые величины.

В таблице 7 и 8 представлены рассчитанные вероятностные характеристики.

Таблица 7 – Существующая и прогнозируемая активная нагрузка потребителя

| № п/п            | Наименование | Мощн. тр-ра, МВА | Текущие         |                  |                 | Прогнозируемые  |                  |                 |
|------------------|--------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
|                  |              |                  | P <sub>ср</sub> | P <sub>max</sub> | P <sub>эф</sub> | P <sub>ср</sub> | P <sub>max</sub> | P <sub>эф</sub> |
| 1                | 2            | 3                | 4               | 5                | 6               | 7               | 8                | 9               |
| <b>ПС 110 кВ</b> |              |                  |                 |                  |                 |                 |                  |                 |
| 1                | Западная     | 2 × 40           | 9,107           | 9,326            | 9,112           | 10,304          | 10,552           | 10,309          |
| 2                | Шахта-7      | 2 × 16           | 17,927          | 18,357           | 17,935          | 20,282          | 20,769           | 20,292          |
| 3                | Кролевцы     | 2 × 25           | 4,787           | 4,902            | 4,789           | 5,416           | 5,546            | 5,419           |
| <b>ПС 35 кВ</b>  |              |                  |                 |                  |                 |                 |                  |                 |
| 4                | Мебельная    | 4 + 3,2          | 1,959           | 2,006            | 1,96            | 2,216           | 2,27             | 2,217           |
| 5                | Трикотажная  | 2 × 10           | 5,838           | 5,978            | 5,841           | 6,605           | 6,764            | 6,608           |
| 6                | Шахтовая     | 2 × 10           | 9,397           | 9,623            | 9,402           | 10,632          | 10,888           | 10,637          |
| 7                | Ключевая     | 2 × 4            | 2,176           | 2,228            | 2,177           | 2,462           | 2,521            | 2,463           |
| 8                | Артёмовская  | 2 × 16           | 17,512          | 17,932           | 17,52           | 19,813          | 20,288           | 19,822          |
| 9                | Заводская    | 2 × 6,3          | 3,173           | 3,249            | 3,174           | 3,59            | 3,676            | 3,592           |
| 10               | Угловая      | 2 × 10           | 13,505          | 13,829           | 13,511          | 15,28           | 15,646           | 15,287          |
| 11               | Касатка      | 2 × 4            | 2,176           | 2,228            | 2,177           | 2,462           | 2,521            | 2,463           |
| 12               | Птицефабрика | 2 × 6,3          | 3,459           | 3,542            | 3,461           | 3,914           | 4,007            | 3,915           |

Таблица 8 – Существующая и прогнозируемая реактивная нагрузка

| Наименование     | Мощн. тр-ра, МВА | Текущие         |                  |                 | Прогнозируемые  |                  |                 |
|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
|                  |                  | Q <sub>ср</sub> | Q <sub>max</sub> | Q <sub>эф</sub> | Q <sub>ср</sub> | Q <sub>max</sub> | Q <sub>эф</sub> |
| 1                | 2                | 3               | 4                | 5               | 6               | 7                | 8               |
| <b>ПС 110 кВ</b> |                  |                 |                  |                 |                 |                  |                 |
| Западная         | 2 × 40           | 3.643           | 3.73             | 3.644           | 4.121           | 4.22             | 4.123           |
| Шахта-7          | 2 × 16           | 7,171           | 7,343            | 7,174           | 8,113           | 8,308            | 8,117           |
| Кролевцы         | 2 × 25           | 1,915           | 1,961            | 1,916           | 2,167           | 2,219            | 2,168           |
| <b>ПС 35 кВ</b>  |                  |                 |                  |                 |                 |                  |                 |
| Мебельная        | 4 + 3,2          | 0.783           | 0.802            | 0.784           | 0.886           | 0.907            | 0.887           |

Продолжение таблицы 8

| 1            | 2       | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
|--------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Трикотажная  | 2 × 10  | 5.838 | 5.978 | 5.841 | 6.605 | 6.764 | 6.608 |
| Шахтовая     | 2 × 10  | 3.759 | 3.849 | 3.761 | 4.253 | 4.355 | 4.255 |
| Ключевая     | 2 × 4   | 0.87  | 0.891 | 0.871 | 0.984 | 1.008 | 0.985 |
| Артёмовская  | 2 × 16  | 7.005 | 7.173 | 7.008 | 7.925 | 8.116 | 7.929 |
| Заводская    | 2 × 6,3 | 1.27  | 1.3   | 1.27  | 1.436 | 1.471 | 1.437 |
| Угловая      | 2 × 10  | 5.401 | 5.531 | 5.404 | 6.111 | 6.258 | 6.114 |
| Касатка      | 2 × 4   | 0.87  | 0.891 | 0.871 | 0.984 | 1.008 | 0.985 |
| Птицефабрика | 2 × 6,3 | 1.384 | 1.417 | 1.384 | 1.566 | 1.603 | 1.566 |

## 2.2 Анализ перспективного режима

Для расчёта перспективного режима нагрузка будет увеличена с учётом её прогнозирования. Данные о нагрузке потребителей представлены в таблице 8 и 9. Расчёт прогнозирования нагрузок более подробно представлен в приложении А. Расчёты нормального перспективного режима представлены в приложении И.

После расчёта нормального перспективного режима составим таблицу токовой загрузки линий электропередачи и таблицу отклонений напряжений в узлах сети. Полученные при помощи ПК RastrWin3 расчётные данные представлены в таблице 9 и 10. Схема перспективного режима сети с указанными перетоками мощности изображена на рисунке 6





Таблица 9 – Значения токов, протекающие по ЛЭП в перспективном режиме

| № узла<br>начала<br>ветви | № узла<br>конца<br>ветви | Марка провода | Длительно-<br>допустимый<br>ток, А | Ток в начале<br>ЛЭП, А | Ток в конце<br>ЛЭП, А |
|---------------------------|--------------------------|---------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 1                         | 2                        | 3             | 4                                  | 5                      | 6                     |
| 5                         | 7                        | АС-300        | 690                                | 162                    | 162                   |
| 9                         | 12                       | АС-300/М-70   | 690                                | 133                    | 133                   |
| 14                        | 16                       | АС-300/М-70   | 690                                | 0                      | 0                     |
| 18                        | 20                       | М-70/АС-70    | 342                                | 462                    | 462                   |
| 22                        | 25                       | М-70/АС-70    | 342                                | 0                      | 0                     |
| 25                        | 29                       | АС-240        | 610                                | 50                     | 50                    |
| 31                        | 34                       | АС-240/М-70   | 610                                | 330                    | 330                   |
| 22                        | 38                       | АС-50         | 215                                | 16                     | 16                    |
| 16                        | 5                        | АС-185        | 510                                | 715                    | 715                   |
| 40                        | 42                       | АС-50         | 215                                | 14                     | 14                    |
| 44                        | 50                       | АС-70         | 265                                | 73                     | 73                    |
| 50                        | 48                       | АС-70         | 265                                | 0                      | 0                     |
| 46                        | 5                        | АС-70         | 265                                | 80                     | 80                    |
| 53                        | 54                       | АС-150        | 450                                | 40                     | 39                    |
| 53                        | 55                       | АС-150        | 450                                | 36                     | 35                    |
| 28                        | 54                       | АС-150        | 450                                | 156                    | 154                   |
| 54                        | 3                        | АС-150        | 450                                | 193                    | 193                   |
| 28                        | 55                       | АС-150        | 450                                | 156                    | 154                   |
| 55                        | 3                        | АС-150        | 450                                | 189                    | 189                   |
| 28                        | 58                       | М-70          | 342                                | 168                    | 167                   |
| 56                        | 3                        | М-70          | 342                                | 355                    | 354                   |
| 25                        | 31                       | АС-240        | 610                                | 353                    | 353                   |

Таблица 10 – Отклонение напряжения в узлах сети перспективного режима

| № узла | Название узла   | U <sub>ном</sub> , кВ | U <sub>факт</sub> , кВ | Отклонение<br>напряжения, % |
|--------|-----------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------|
| 1      | 2               | 3                     | 4                      | 5                           |
| 1      | АТЭЦ 5Т-6Т НН   | 16                    | 16,97                  | 6,04                        |
| 2      | АТЭЦ 5Т-6Т ВН   | 110                   | 119,94                 | 9,04                        |
| 3      | АТЭЦ 2Т-4Т ВН   | 110                   | 120                    | 9,09                        |
| 4      | АТЭЦ 2Т-4Т о.т. | 110                   | 116,69                 | 6,08                        |

Продолжение таблицы 10

| 1  | 2                   | 3   | 4      | 5      |
|----|---------------------|-----|--------|--------|
| 5  | АТЭЦ 2Т-4Т СН       | 35  | 37,09  | 5,96   |
| 6  | АТЭЦ 2Т-4Т НН       | 6   | 6,36   | 6,08   |
| 17 | Шахтовая 1Т НН      | 6   | 5,63   | -6,11  |
| 19 | Шахтовая 2Т НН      | 6   | 5,55   | -7,52  |
| 20 | Артёмовская 1Т ВН   | 35  | 32,76  | -6,4   |
| 21 | Артёмовская 1Т НН   | 6   | 5,38   | -10,34 |
| 22 | Артёмовская 2Т ВН   | 35  | 32,76  | -6,4   |
| 23 | Артёмовская 2Т НН   | 6   | 5,38   | -10,35 |
| 28 | Западная 1Т-2Т ВН   | 110 | 116,33 | 5,75   |
| 35 | Угловая 1Т НН       | 6   | 5,66   | -5,72  |
| 37 | Угловая 2Т НН       | 6   | 5,69   | -5,16  |
| 38 | Ключевая 1Т ВН      | 35  | 32,68  | -6,64  |
| 39 | Ключевая 1Т НН      | 6   | 5,55   | -7,52  |
| 46 | Птицефабрика 1Т ВН  | 35  | 36,78  | 5,07   |
| 48 | Птицефабрика 2Т ВН  | 35  | 36,78  | 5,07   |
| 50 | Кролевцы 1Т-2Т СН   | 35  | 37,35  | 6,73   |
| 51 | Кролевцы 1Т-2Т НН   | 6   | 6,38   | 6,37   |
| 52 | Кролевцы 1Т-2Т о.т. | 110 | 117,45 | 6,77   |
| 53 | Кролевцы 1Т-2Т ВН   | 110 | 119,04 | 8,22   |
| 54 | Отпайка 1 АС-150    | 110 | 119,08 | 8,26   |
| 55 | Отпайка 2 АС-150    | 110 | 119,08 | 8,25   |
| 56 | Шахта-7 1Т ВН       | 110 | 116,96 | 6,33   |
| 58 | Шахта-7 2Т ВН       | 110 | 116,96 | 6,32   |

Исходя из таблиц 9 и 10 ясно, что линии электропередачи «Артёмовская ТЭЦ – Шахтовая», «Шахтовая – Артёмовская», «Артёмовская ТЭЦ – Шахта 7» на момент прогноза нагрузки (2021 год) будут перегружены и не смогут проводить необходимый переток мощности. ПС Артёмовская не будет выполнять требования ГОСТ 32144-2013 по уровню напряжения на шинах 6 кВ. Следовательно, существует необходимость модернизации электрической сети в районе города Артём.

### 2.3 Разработка и технический анализ вариантов реконструкции

Первый вариант заключается в замене медного провода на сталеалюминевый большего сечения линий электропередачи «Шахтовая – Артёмовская», «Шахтовая – Трикотажная» и «Мебельная – Трикотажная».

Рассмотрим этот вариант подробнее. Для более детального анализа воспользуемся ПВК RastrWin3. При данной реконструкции сети переток мощности по головному участку «Артёмовская ТЭЦ – Мебельная» будет иметь большую величину, поэтому сечение провода на данном промежутке будет так же иметь относительно большую величину. Чтобы удостовериться в вышесказанном произведём расчёт режима данной сети и составим таблицу значений токов, протекаемых по линиям электропередачи.

Таблица 11 – Значения токов в первом варианте перспективной сети

| № узла начала ветви | № узла конца ветви | Марка провода установленного провода | Длительно-допустимый ток, А | Ток в начале ЛЭП, А | Ток в конце ЛЭП, А |
|---------------------|--------------------|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------|
| 1                   | 2                  | 3                                    | 4                           | 5                   | 6                  |
| 5                   | 7                  | АС-300                               | 690                         | 915                 | 915                |
| 9                   | 12                 | АС-300/М-70                          | 690                         | 882                 | 882                |
| 14                  | 16                 | АС-300/М-70                          | 690                         | 744                 | 744                |
| 18                  | 20                 | М-70/АС-70                           | 342                         | 483                 | 483                |
| 22                  | 25                 | М-70/АС-70                           | 342                         | 0                   | 0                  |
| 25                  | 29                 | АС-240                               | 610                         | 50                  | 50                 |
| 31                  | 34                 | АС-240/М-70                          | 610                         | 327                 | 327                |
| 22                  | 38                 | АС-50                                | 215                         | 16                  | 16                 |
| 16                  | 5                  | АС-185                               | 510                         | 0                   | 0                  |
| 40                  | 42                 | АС-50                                | 215                         | 14                  | 14                 |
| 44                  | 50                 | АС-70                                | 265                         | 73                  | 73                 |
| 50                  | 48                 | АС-70                                | 265                         | 0                   | 0                  |
| 46                  | 5                  | АС-70                                | 265                         | 80                  | 80                 |
| 53                  | 54                 | АС-150                               | 450                         | 40                  | 39                 |
| 53                  | 55                 | АС-150                               | 450                         | 36                  | 36                 |
| 28                  | 54                 | АС-150                               | 450                         | 156                 | 154                |
| 54                  | 3                  | АС-150                               | 450                         | 193                 | 193                |

Продолжение таблицы 11

| 1  | 2  | 3      | 4   | 5   | 6   |
|----|----|--------|-----|-----|-----|
| 28 | 55 | АС-150 | 450 | 156 | 154 |
| 55 | 3  | АС-150 | 450 | 189 | 189 |
| 28 | 58 | М-70   | 342 | 167 | 167 |
| 56 | 3  | М-70   | 342 | 298 | 297 |
| 25 | 31 | АС-240 | 610 | 349 | 349 |

Анализируя значения полученные в ходе расчёта режимов приходим к выводу о нецелесообразности данного варианта реконструкции, из-за большого значения тока на участке сети 5 – 7. Минимальное значение сечения провода для данного варианта реконструкции составляет 500 мм<sup>2</sup>. Установка же провод А-500/26 производится только на напряжении не ниже 220 кВ. Исходя из вышесказанного сделан вывод о нецелесообразности данного варианта реконструкции.

Второй вариант реконструкции – это замена медного провода на сталеалюминевый участке «Западная – Артёмовская». Аналогично проведём расчёт режима сети данного варианта. Полученные значения сведём в таблицу 12.

Таблица 12 – Значения токов во втором варианте перспективной сети

| № узла начала ветви | № узла конца ветви | Марка провода установленного провода | Длительно-допустимый ток, А | Ток в начале ЛЭП, А | Ток в конце ЛЭП, А |
|---------------------|--------------------|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------|
| 1                   | 2                  | 3                                    | 4                           | 5                   | 6                  |
| 5                   | 7                  | АС-300                               | 690                         | 159                 | 159                |
| 9                   | 12                 | АС-300/М-70                          | 690                         | 131                 | 131                |
| 14                  | 16                 | АС-300/М-70                          | 690                         | 0                   | 0                  |
| 18                  | 20                 | М-70/АС-70                           | 342                         | 253                 | 253                |
| 22                  | 25                 | М-70/АС-70                           | 342                         | 696                 | 696                |
| 25                  | 29                 | АС-240                               | 610                         | 51                  | 51                 |
| 31                  | 34                 | АС-240/М-70                          | 610                         | 339                 | 339                |
| 22                  | 38                 | АС-50                                | 215                         | 15                  | 15                 |
| 16                  | 5                  | АС-185                               | 510                         | 0                   | 0                  |

Продолжение таблицы 4

| 1  | 2  | 3      | 4   | 5   |     |
|----|----|--------|-----|-----|-----|
| 40 | 42 | АС-50  | 215 | 14  | 14  |
| 44 | 50 | АС-70  | 265 | 74  | 74  |
| 50 | 48 | АС-70  | 265 | 0   | 0   |
| 46 | 5  | АС-70  | 265 | 78  | 78  |
| 53 | 54 | АС-150 | 450 | 40  | 40  |
| 53 | 55 | АС-150 | 450 | 35  | 35  |
| 28 | 54 | АС-150 | 450 | 221 | 219 |
| 54 | 3  | АС-150 | 450 | 259 | 258 |
| 28 | 55 | АС-150 | 450 | 221 | 218 |
| 55 | 3  | АС-150 | 450 | 253 | 252 |
| 28 | 58 | М-70   | 342 | 270 | 269 |
| 56 | 3  | М-70   | 342 | 402 | 401 |
| 25 | 31 | АС-240 | 610 | 362 | 362 |

Во втором варианте развития наблюдается аналогичная ситуация. Ток, протекающий по линии электропередачи «Западная – Артёмовская» составляет 696 ампер. В данном варианте развития необходима установка провода марки АС-330/27 или более. Данный провод так же устанавливается на напряжении не ниже 220 кВ, а постройка линии электропередачи классом напряжения 35 кВ в габаритах ЛЭП 220 кВ является экономически необоснованным. Так же потребуется замена силовых трансформаторов на ПС «Западная» в виду их сильной перегрузки в нормальном режиме работы.

Третий вариант развития: замена провода линий электропередачи «Артёмовская ТЭЦ – Шахтовая», «Шахтовая – Артёмовская». Проведём расчёт режима сети и сведём полученные данные в таблицу 13.

Таблица 13 – Значения токов в третьем варианте перспективной сети

| № узла<br>начала<br>ветви | № узла<br>конца<br>ветви | Марка провода<br>установленного<br>провода | Длительно-<br>допустимый<br>ток, А | Ток в начале<br>ЛЭП, А | Ток в конце<br>ЛЭП, А |
|---------------------------|--------------------------|--|------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 1                         | 2                        | 3  | 4                                  | 5                      | 6                     |
| 5                         | 7                        | АС-300                                     | 690                                | 163                    | 163                   |
| 9                         | 12                       | АС-300/М-70                                | 690                                | 134                    | 134                   |
| 14                        | 16                       | АС-300/М-70                                | 690                                | 0                      | 0                     |
| 18                        | 20                       | М-70/АС-70                                 | 342                                | 473                    | 473                   |
| 22                        | 25                       | М-70/АС-70                                 | 342                                | 0                      | 0                     |
| 25                        | 29                       | АС-240                                     | 610                                | 50                     | 50                    |
| 31                        | 34                       | АС-240/М-70                                | 610                                | 327                    | 327                   |
| 22                        | 38                       | АС-50                                      | 215                                | 16                     | 16                    |
| 16                        | 5                        | АС-185                                     | 510                                | 730                    | 730                   |
| 40                        | 42                       | АС-50                                      | 215                                | 14                     | 14                    |
| 44                        | 50                       | АС-70                                      | 265                                | 73                     | 73                    |
| 50                        | 48                       | АС-70                                      | 265                                | 0                      | 0                     |
| 46                        | 5                        | АС-70                                      | 265                                | 80                     | 80                    |
| 53                        | 54                       | АС-150                                     | 450                                | 40                     | 39                    |
| 53                        | 55                       | АС-150                                     | 450                                | 36                     | 36                    |
| 28                        | 54                       | АС-150                                     | 450                                | 156                    | 154                   |
| 54                        | 3                        | АС-150                                     | 450                                | 193                    | 193                   |
| 28                        | 55                       | АС-150                                     | 450                                | 156                    | 154                   |
| 55                        | 3                        | АС-150                                     | 450                                | 189                    | 189                   |
| 28                        | 58                       | М-70                                       | 342                                | 167                    | 167                   |
| 56                        | 3                        | М-70                                       | 342                                | 298                    | 297                   |
| 25                        | 31                       | АС-240                                     | 610                                | 349                    | 349                   |

Аналогичная ситуация наблюдается и в данном варианте. Значение тока на головном участке сети «Артёмовская ТЭЦ – Шахтовая» составляет 710 А. В данном случае так же потребуется установка линии электропередачи 35 кВ в габаритах 220 кВ. Данный вариант не является приемлемым.

Стоит отметить, что во все три представленных варианта сети так же имеют очень большой недостаток. При аварии на линии электропередачи, например её обрыве, большая часть потребителей так и не будет переведена на

резервный источник питания, из-за недостаточной пропускной способности линий электропередачи резервных источников питания. Данные схемы не будут выполнять требования надёжности сети, т.к. среди нагрузки есть потребители 1 и 2 категории по надёжности,

Исходя из вышесказанного приходим к выводу, что необходимо комплексное развитие сети, т.е. замена двух и более её элементов. Поэтому следующим вариантом развития будет рассматриваться модернизация линий электропередачи 35кВ: «Артёмовская – Шахтовая», «Западная – Артёмовская»; а так же модернизация сети 110 кВ: «Артёмовская ТЭЦ – Шахта-7», «Западная – Шахта-7».

В данном варианте развития вторая секция шин ПС «Шахтовая» будут переведены на питание от «Артёмовской ТЭЦ», первая секция шин ПС «Шахтовая» переводится на питание от ПС «Трикожанная», а ПС «Ключевая» будет полностью переведена на питание со стороны ПС «Касатка». Питание ПС «Артёмовская» будет осуществляться так же от двух источников питания. Вторая секция шин будет получать питание от ПС «Западная», а первая – от ПС «Шахтовая». Для расчёта необходимых сечений сети 35 кВ необходимо пересчитать перспективный режим с учётом изменения направления перетоков мощности. В результате модернизации схемы сети получим значения токов, протекающие по линиям электропередачи в перспективной схеме сети, которые представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Уровень загрузки ЛЭП в перспективной схеме сети

| № узла начала ветви | № узла конца ветви | Марка провода | Длительно-допустимый ток, А | Ток в начале ЛЭП, А | Ток в конце ЛЭП, А |
|---------------------|--------------------|---------------|-----------------------------|---------------------|--------------------|
| 1                   | 2                  | 3             | 4                           | 5                   | 6                  |
| 5                   | 7                  | АС-300        | 690                         | 304                 | 304                |
| 9                   | 12                 | АС-300/М-70   | 690                         | 276                 | 276                |
| 14                  | 16                 | АС-300/М-70   | 690                         | 141                 | 141                |
| 18                  | 20                 | М-70/АС-70    | 342                         | 208                 | 208                |
| 22                  | 25                 | М-70/АС-70    | 342                         | 211                 | 211                |

Продолжение таблицы 14

| 1  | 2  | 3           | 4   | 5   | 6   |
|----|----|-------------|-----|-----|-----|
| 25 | 29 | АС-240      | 610 | 51  | 51  |
| 31 | 34 | АС-240/М-70 | 610 | 339 | 339 |
| 22 | 38 | АС-50       | 215 | 0   | 0   |
| 18 | 5  | АС-185      | 510 | 305 | 305 |
| 40 | 42 | АС-50       | 215 | 28  | 28  |
| 44 | 50 | АС-70       | 265 | 88  | 88  |
| 50 | 48 | АС-70       | 265 | 0   | 0   |
| 46 | 5  | АС-70       | 265 | 79  | 79  |
| 53 | 54 | АС-150      | 450 | 42  | 42  |
| 53 | 55 | АС-150      | 450 | 38  | 38  |
| 28 | 54 | АС-150      | 450 | 176 | 174 |
| 54 | 3  | АС-150      | 450 | 216 | 215 |
| 28 | 55 | АС-150      | 450 | 176 | 174 |
| 55 | 3  | АС-150      | 450 | 211 | 211 |
| 28 | 58 | М-70        | 342 | 200 | 199 |
| 56 | 3  | М-70        | 342 | 331 | 330 |
| 25 | 31 | АС-240      | 610 | 362 | 362 |

Исходя из значений таблицы 14 можно судить о более оптимальном распределения потоков мощности в электрической сети. В ранее перегруженных промежутках значения токов теперь не превышают предельно-допустимые значения.

Таким же образом рассмотрим и аварийный режим сети и сведём полученные данные в таблицу 15. Для моделирования аварийного режима сети необходимо произвести обрыв самого загруженного участка сети, и перевести отключённую от сети нагрузку на резервный источник питания. В качестве самой загруженной ЛЭП возьмём «Артёмовская ТЭЦ – Шахтовая». Аналогично проведём проверку ЛЭП «Артёмовская ТЭЦ – Западная» и отключим одну из цепей. Так же будет необходимо проверить загрузку трансформаторов на ПС «Западная», для этого полученные расчётные значения сведём в таблицу 16.

Таблица 15 – Уровень загрузки ЛЭП в аварийном режиме работы

| № узла начала ветви | № узла конца ветви | Марка провода | Длительно-допустимый ток, А | Ток в начале ЛЭП, А | Ток в конце ЛЭП, А |
|---------------------|--------------------|---------------|-----------------------------|---------------------|--------------------|
| 1                   | 2                  | 3             | 4                           | 5                   | 6                  |
| 5                   | 7                  | АС-300        | 690                         | 302                 | 302                |
| 9                   | 12                 | АС-300/М-70   | 690                         | 273                 | 273                |
| 14                  | 16                 | АС-300/М-70   | 690                         | 140                 | 140                |
| 18                  | 20                 | М-70/АС-70    | 342                         | 104                 | 104                |
| 22                  | 25                 | М-70/АС-70    | 342                         | 542                 | 542                |
| 25                  | 29                 | АС-240        | 610                         | 53                  | 53                 |
| 31                  | 34                 | АС-240/М-70   | 610                         | 350                 | 350                |
| 22                  | 38                 | АС-50         | 215                         | 0                   | 0                  |
| 18                  | 5                  | АС-185        | 510                         | 0                   | 0                  |
| 40                  | 42                 | АС-50         | 215                         | 28                  | 28                 |
| 44                  | 50                 | АС-70         | 265                         | 88                  | 88                 |
| 50                  | 48                 | АС-70         | 265                         | 0                   | 0                  |
| 46                  | 5                  | АС-70         | 265                         | 79                  | 79                 |
| 53                  | 54                 | АС-150        | 450                         | 0                   | 0                  |
| 53                  | 55                 | АС-150        | 450                         | 80                  | 80                 |
| 28                  | 54                 | АС-150        | 450                         | 208                 | 206                |
| 54                  | 3                  | АС-150        | 450                         | 0                   | 0                  |
| 28                  | 55                 | АС-150        | 450                         | 208                 | 205                |
| 55                  | 3                  | АС-150        | 450                         | 365                 | 364                |
| 28                  | 58                 | М-70          | 342                         | 393                 | 393                |
| 56                  | 3                  | М-70          | 342                         | 525                 | 524                |
| 25                  | 31                 | АС-240        | 610                         | 140                 | 140                |

Исходя из значений, полученных в таблице 15 следует вывод о недостаточной величине сечения ЛЭП «Артёмовская ТЭЦ – Шахта-7 – Западная» в аварийном режиме работы. В виду того, что линии электропередачи «Западная – Артёмовская ТЭЦ» и «Западная – Шахта-7 – Артёмовская ТЭЦ» работают в параллельном режиме, то модернизация участка «Артёмовская ТЭЦ – Шахта-7 – Западная» приведёт к увеличению пропускной способности данного промежутка, снижению потерь электроэнергии, за счёт

снижения плотности протекаемого тока, а также к увеличению надёжности электроснабжения, в виду повышения способности резервирования данных линий при отключении одной из них. Поэтому провода на участке «Западная – Шахта-7 – Артёмовская ТЭЦ» так же необходимо заменить в ходе модернизации электрической сети в районе города Артём.

Таблица 16 – Перетоки мощности на ПС «Западная»

| № узла начала ветви | № узла конца ветви | Сторона трансформации | Переток активной мощности в начале ветви, МВт | Переток реактивной мощности в начале ветви, Мвар |
|---------------------|--------------------|-----------------------|---|--|
| 1                   | 2                  | 3                     | 4   | 5  |
| 28                  | 27                 | ВН                    | 72  | 45   |
| 27                  | 26                 | СН                    | 12  | 5  |
| 27                  | 25                 | НН                    | 59  | 30   |

Коэффициент загрузки силового трансформатора определяется по формуле:

$$K_3^{\text{норм}} = \frac{\sqrt{P_{\text{ВН}}^2 + Q_{\text{ВН}}^2}}{S_{\text{Т.НОМ}} \cdot n_{\text{Т}}}, \quad (10)$$

где  $P_{\text{ВН}}, Q_{\text{ВН}}$  – соответственно переток активной и реактивной мощности по обмотке высшего напряжения;

$n_{\text{Т}}$  – число силовых трансформаторов;

$S_{\text{Т.НОМ}}$  – номинальная мощность установленных силовых трансформаторов

Рассчитаем коэффициент загрузки трансформатора в данном режиме сети:

$$K_3^{\text{норм}} = \frac{\sqrt{72^2 + 45^2}}{2 \cdot 80} = 1,06$$

В данном режиме работы сети происходит перегрузка силовых трансформаторов на данной ПС. В нормальном режиме работы данных трансформаторов коэффициент загрузки составляет 1,06, при максимально допустимом значении 0,7. В связи с этим Поэтому в данном развитии электрической сети так же имеет место необходимость замены данных силовых трансформаторов на более мощные.

#### **2.4 Выбор сечений линий электропередачи и их конструктивное исполнение**

Сечение – важнейший параметр линии. С увеличением сечения проводов линий увеличиваются затраты на сооружение линий и одновременно уменьшаются потери электроэнергии и их стоимость за год.

Долгое время выбор сечений проводников осуществлялся по экономической плотности тока.

Данный метод был прогрессивным для своего времени, так как позволял учитывать при выборе сечения не только капитальные затраты на сооружение линий, но и стоимость потерь электроэнергии. Несмотря на указанные достоинства применение экономической плотности тока для выбора сечения воздушных линий приводит к ошибкам, поскольку следует из не вполне обоснованных допущений:

1. Выражение для  $J_{эк}$  получено в предположении линейной зависимости капитальных вложений в линию от её длины. Линейная зависимость нарушается при переходе к массовому строительству воздушных линий на унифицированных опорах.

2. При выводе выражения для  $J_{эк}$  использовалось допущение о непрерывности сечения. В действительности сечения изменяются дискретно.

3. Наибольший ток в линии  $I_{нб}$  постоянен. Данное утверждение является ошибочным, т.к. разных линий наибольший ток разный.

Метод выбора сечений, свободный от указанных недостатков, получил название «метода экономических интервалов».

Экономические интервалы токовых нагрузок для выбора сечения провода определяются для различных стандартных сечений проводов воздушных линий 35-750 кВ. Строятся зависимости приведённых затрат на линию от тока  $I_{нб}$ . Для каждого сечения приведённые затраты можно переписать в следующем виде:

$$З = (p_H + \alpha_э)K + 3I_{нб}^2 r_{л} \tau \beta , \quad (11)$$

Как видно из выражения это квадратичные зависимости, и чем больше сечение, тем больше пологость парабол. Точка пересечения кривых определяет значение наибольшего тока  $I_{нб}$ , при котором приведённые затраты вариантов сечений равны.

При использовании экономических интервалов тока необходимо уточнение понятия наибольшего тока линии. Сечения проводов надо выбирать по расчётной токовой нагрузке линии  $I_p$ , которая определяется по выражению:

$$I_p = I_{нб} \alpha_i \alpha_t , \quad (12)$$

где  $I_{нб}$  – ток в линии на пятый год её эксплуатации в нормальном режиме, определяемый для линий питающей и распределительной сетей из расчёта режима, соответствующего максимуму нагрузки энергосистемы;

$\alpha_i$  – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки по годам эксплуатации линии;

$\alpha_t$  – коэффициент, учитывающий число часов использования максимальной нагрузки и коэффициент попадания в максимум энергосистемы.

Экономические интервалы тока для выбора сечений проводов воздушных линий 35-750 кВ приведены в зависимости от напряжения, расчётной токовой нагрузки, района по гололёду, материала опор и количества цепей в линии. Таблица составлена для всех стандартных сечений проводов для четырёх регионов нашей страны.

Если расчётная токовая нагрузка превышает верхнюю границу интервала использования максимального сечения для данного напряжения, то надо рассмотреть варианты усиления сети

Если расчётная токовая нагрузка меньше нижней границы интервала применения минимального сечения данного напряжения, то необходимо сравнение с вариантом линии более низкого напряжения.

Экономические интервалы токов и мощностей подсчитаны для сечений, которые равны минимально допустимым по условиям короны или больше них. Поэтому проверять по условиям короны надо только воздушные линии 110 кВ и выше, прокладываемые по трассам с отметками выше 1500 м над уровнем моря.

Проверять по допустимым потерям и отклонениям напряжения сечения воздушных линий 35 кВ и выше не надо, так как повышение уровня напряжения путём увеличения сечения проводов таких линий экономически нецелесообразно.

Сечения проводов воздушных линий необходимо проверить по допустимому нагреву в послеаварийном режиме

Алгоритм выбора сечений для вариантов сети 110 кВ следующий:

1. При помощи ПВК RastrWin3 определяем токи, протекающие по выбранным нами линиям электропередачи;

2. По формуле (12) определяются расчётные токи, при условии, что  $\alpha_i = 1.05$ , так как все нагрузки уже спрогнозированы на пять лет вперёд,  $\alpha_T = 1$ , при  $K_m = 0.8$  – коэффициент попадания в максимум энергосистемы,  $T_m = 5500$  ч. – время использования максимума нагрузки в Приморской энергосистеме.

3. Согласно экономическим токовым интервалам определяем сечения линий.

Для сети 35 кВ сечение линий электропередачи будет определяться по длительно-допустимому току в послеаварийном режиме сети, следовательно алгоритм будет следующий:

1. При помощи ПК RastrWin3 определяем токи в послеаварийном режиме работы перспективной сети;

2. Исходя из значений предельно-допустимых токов для проводов марки АС выбираем необходимое сечение линии электропередачи.

Токи, протекающие по линиям электропередачи в перспективном режиме, представлены в таблице 11. По этим данным осуществляем выбор сечения проводов в соответствии с приведённой выше методикой. Расчёт сечения проводов для ЛЭП 110 кВ представлен в приложении В. Все расчётные данные заносим в таблицу 17.

Таблица 17 – Выбор сечений проводов

| Участок                | Расчётный ток, А | Марка провода | Длительно-допустимый ток при +20°C, А |
|------------------------|------------------|---------------|---------------------------------------|
| 1                      | 2                | 3             | 4                                     |
| <b>ВЛ 110 кВ</b>       |                  |               |                                       |
| АТЭЦ – Шахта-7         | 331              | АС-240/39     | 610                                   |
| Западная – Шахта-7     | 200              | АС-240/39     | 610                                   |
| <b>ВЛ 35 кВ</b>        |                  |               |                                       |
| Западная – Артёмовская | 542/434          | АС-240/39     | 610                                   |
| Артёмовская – Шахтовая | 441              | АС-185/29     | 510                                   |
| АТЭЦ – Шахтовая        | 538              | АС-240/39     | 610                                   |

## 2.5 Выбор мощности силового трансформатора

В данном подразделе рассматривается выбор силовых трансформаторов необходимой мощности в связи с увеличением нагрузок с учётом на перспективу.

Выбор мощности и числа силовых трансформаторов осуществляется в зависимости от категории подключённого потребителя. Если в составе нагрузки ПС имеют место потребители первой категории, то число устанавливаемых силовых трансформаторов должно быть не менее 2-ух. Но установка на ПС более двух силовых трансформаторов не рекомендуется и должна быть обоснована.

В данном проекте подстанция «Западная» не питает потребителей 1-й категории, из этого следует, что достаточно наличие двух взаиморезервирующих источников питания. Исходя из вышесказанного, следует вывод о том, что на ПС «Западная» требуется наличие двух силовых трансформаторов.

Расчётная мощность трёхобмоточного трансформатора определяется по формуле:

$$S_p = \frac{\sqrt{(P_{\text{нн}}^2 + Q_{\text{нн}}^2) + (P_{\text{сн}}^2 + Q_{\text{сн}}^2)}}{K_3^{\text{опт}} \cdot n_T}, \quad (13)$$

где  $P_{\text{нн}}, P_{\text{сн}}$  – соответственно средняя активная мощность в зимний период передаваемая в сеть низкого, среднего напряжения, МВт

$Q_{\text{нн}}, Q_{\text{сн}}$  – соответственно средняя реактивная мощность передаваемая в зимний период в сеть низкого, среднего напряжения, Мвар

$K_3^{\text{опт}}$  – оптимальный коэффициент загрузки для двухтрансформаторной ПС, равный 0,7

Проверка выбранного трансформатора осуществляется по коэффициенту загрузки в послеаварийном и нормальном режиме работы [8]:

$$K_3^{\text{авар}} = \frac{\sqrt{(P_{\text{нн}}^2 + Q_{\text{нн}}^2) + (P_{\text{сн}}^2 + Q_{\text{сн}}^2)}}{S_{\text{т.ном}}}, \quad (14)$$

$$K_3^{\text{норм}} = \frac{\sqrt{(P_{\text{нн}}^2 + Q_{\text{нн}}^2) + (P_{\text{сн}}^2 + Q_{\text{сн}}^2)}}{S_{\text{т.ном}} \cdot n_T}, \quad (15)$$

Для расчёта необходимой мощности трансформатора воспользуемся ПВК RastrWin3. При моделировании перспективного режима определим переток мощности через обмотку высшего напряжения трансформатора. Данные значения будут отражать сумму значений мощностей, передаваемые в сеть

среднего и низкого напряжения. Так как выбор силовых трансформаторов определяется по средней полной мощности, следовательно полученную расчётную мощность необходимо разделить на коэффициент максимума:

$$P_{\text{ср}} = \frac{54}{1,024} = 52,73$$

Аналогично рассчитаем переток реактивной мощности:

$$Q_{\text{ср}} = \frac{32}{1,024} = 31,25$$

Определим необходимую мощность силового трансформатора:

$$S_{\text{р}} = \frac{\sqrt{52,73^2 + 31,25^2}}{2 \cdot 0,7} = 43,78$$

Принимаем к установке 2 силовых трансформатора ТДТН – 63000/110 с установленной мощностью 63 МВА. Коэффициент загрузки в нормальном режиме сети данных трансформаторов составляет:

$$K_3^{\text{норм}} = \frac{\sqrt{52,73^2 + 31,25^2}}{2 \cdot 63} = 0,586$$

При отключении одного трансформатора:

$$K_3^{\text{норм}} = \frac{\sqrt{52,73^2 + 31,25^2}}{63} = 1,236$$

Значения коэффициентов загрузки находятся в допустимых пределах. Более подробный расчёт силовых трансформаторов представлен в приложении Б.

Так же при аварийном отключении линии электропередачи «Артёмовская ТЭЦ – Шахтовая» установленные трансформаторы смогут принять оставшуюся без питания нагрузку без перегрузки, и тем самым, в полной мере осуществлять длительное электроснабжение ПС «Артёмовская» и ПС «Шахтовая».

### 3 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Коротким замыканием называют всякое, не предусмотренное нормальными условиями работы замыкание между фазами, а в системах с заземлёнными нейтральными – также замыкание одной или нескольких фаз на землю [17].

При возникновении короткого замыкания в электрической системе сопротивление цепи сильно снижается, что приводит к увеличению протекающих токов в отдельных ветвях системы по сравнению с токами исходного режима. В свою очередь это вызывает снижение напряжения в системе. Протекание больших токов приводит к дополнительному нагреву токоведущих элементов и проводников выше допустимого уровня, которое особенно велико вблизи места КЗ. Кроме теплового действия, токи КЗ вызывают между проводниками сильные механические усилия, которые особенно велики в момент прохождения ударного тока. При недостаточной прочности проводников и их креплений они могут быть разрушены при КЗ.

При задержке отключения короткого замыкания может произойти нарушение устойчивости электрической сети, что является одним из наиболее опасных последствий короткого замыкания, так как оно отражается на работе всей системы.

Под расчётом электромагнитного переходного процесса обычно понимают вычисление токов и напряжений при заданных условиях. В зависимости от назначения такого расчёта находят указанные величины для

заданного момента времени или находят их изменение в течение всего переходного процесса. При этом решение обычно производится для одной или нескольких точек схемы [19].

Расчёт токов КЗ производится для выбора и проверки проводников и электрических аппаратов на станциях и подстанциях. Значения периодической составляющей тока КЗ, периодической составляющей тока КЗ в момент отключения, аperiodической составляющей тока КЗ в момент отключения в заданной точке необходимо для проверки коммутационной способности выключателя, значение ударного тока КЗ необходимо для проверки электродинамической стойкости коммутационных аппаратов и трансформаторов тока [3].

Расчёт токов короткого замыкания будет производиться в модуле ТКЗ программно-вычислительного комплекса RastrWin3. Для выполнения данного пункта заполним необходимые таблицы, аналогично расчётам режимов электрической сети. Для расчёта реактивного сопротивления нулевой последовательности воспользуемся формулой:

$$X_0 = X_L \cdot k_0, \quad (16)$$

где  $X_L$  – реактивное сопротивление линии

$k_0$  – среднее значение отношения индуктивного сопротивления нулевой последовательности к индуктивному сопротивлению прямой последовательности

Значение  $k_0$  для одноцепных линий со стальными заземлёнными тросами равняется 3 [15]. Для трансформаторов сопротивление нулевой последовательности остаётся неизменным и равно индуктивному сопротивлению ветви трансформатора.

При заполнении таблицы узлов несимметрии так же необходимо указать тип используемой нейтрали узла. В ПВК RastrWin3. В данном программном комплексе для обозначения глухозаземленной и эффективно-заземленной

нейтралю используется значение «зак», для обозначения изолированной – «У».  
Составим таблицу узлов и ветвей несимметрии.

Таблица 18 – Таблица узлов несимметрии

| № узла | Название узла     | Тип нейтрали | Номинальное напряжение |
|--------|-------------------|--------------|------------------------|
| 1      | 2                 | 3            | 4                      |
| 1      | АТЭЦ 5Т-6Т НН     | У            | 16                     |
| 2      | АТЭЦ 5Т-6Т ВН     | зак          | 110                    |
| 3      | АТЭЦ 2Т-4Т ВН     | зак          | 110                    |
| 4      | АТЭЦ 2Т-4Т о.т.   | зак          | 110                    |
| 5      | АТЭЦ 2Т-4Т СН     | У            | 35                     |
| 6      | АТЭЦ 2Т-4Т НН     | У            | 6                      |
| 7      | Мебельная 2Т ВН   | У            | 35                     |
| 8      | Мебельная 2Т НН   | У            | 6                      |
| 9      | Мебельная 1Т ВН   | У            | 35                     |
| 10     | Мебельная 1Т НН   | У            | 6                      |
| 12     | Трикотажная 2Т ВН | У            | 35                     |
| 13     | Трикотажная 2Т НН | У            | 6                      |
| 14     | Трикотажная 1Т ВН | У            | 35                     |
| 15     | Трикотажная 1Т НН | У            | 6                      |
| 16     | Шахтовая 1Т ВН    | У            | 35                     |
| 17     | Шахтовая 1Т НН    | У            | 6                      |
| 18     | Шахтовая 2Т ВН    | У            | 35                     |
| 19     | Шахтовая 2Т НН    | У            | 6                      |
| 20     | Артёмовская 1Т ВН | У            | 35                     |
| 21     | Артёмовская 1Т НН | У            | 6                      |
| 22     | Артёмовская 2Т ВН | У            | 35                     |
| 23     | Артёмовская 2Т НН | У            | 6                      |

|    |                    |     |     |
|----|--------------------|-----|-----|
| 25 | Западная 1Т-2Т СН  | У   | 35  |
| 26 | Западная 1Т-2Т НН  | У   | 6   |
| 27 | Западная 1Т-2Т о.т | зак | 110 |
| 28 | Западная 1Т-2Т ВН  | зак | 110 |
| 29 | Заводская 1Т ВН    | У   | 35  |
| 30 | Заводская 1Т НН    | У   | 6   |
| 31 | Заводская 2Т ВН    | У   | 35  |
| 32 | Заводская 2Т НН    | У   | 6   |
| 34 | Угловая 1Т ВН      | У   | 35  |

| 1  | 2                   | 3   | 4   |
|----|---------------------|-----|-----|
| 35 | Угловая 1Т НН       | У   | 6   |
| 36 | Угловая 2Т ВН       | У   | 35  |
| 37 | Угловая 2Т НН       | У   | 6   |
| 38 | Ключевая 1Т ВН      | У   | 35  |
| 39 | Ключевая 1Т НН      | У   | 6   |
| 40 | Ключевая 2Т ВН      | У   | 35  |
| 41 | Ключевая 2Т НН      | У   | 6   |
| 42 | Касатка 1Т ВН       | У   | 35  |
| 43 | Касатка 1Т НН       | У   | 6   |
| 44 | Касатка 2Т ВН       | У   | 35  |
| 45 | Касатка 2Т НН       | У   | 6   |
| 46 | Птицефабрика 1Т ВН  | У   | 35  |
| 47 | Птицефабрика 1Т НН  | У   | 6   |
| 48 | Птицефабрика 2Т ВН  | У   | 35  |
| 49 | Птицефабрика 2Т НН  | У   | 6   |
| 50 | Кролевцы 1Т-2Т СН   | зак | 35  |
| 51 | Кролевцы 1Т-2Т НН   | У   | 6   |
| 52 | Кролевцы 1Т-2Т о.т. | зак | 110 |
| 53 | Кролевцы 1Т-2Т ВН   | зак | 110 |
| 54 | Отпайка 1 АС-150    | зак | 110 |
| 55 | Отпайка 2 АС-150    | зак | 110 |
| 56 | Шахта-7 1Т ВН       | зак | 110 |
| 57 | Шахта-7 1Т НН       | У   | 6   |
| 58 | Шахта-7 2Т ВН       | зак | 110 |
| 59 | Шахта-7 2Т НН       | У   | 6   |

Таблица 19 – Таблица ветвей несимметрии

| Тип ветви | № узла<br>начала ветви | № узла<br>конца ветви | X, Ом | X <sub>0</sub> , Ом | Kт/г  |
|-----------|------------------------|-----------------------|-------|---------------------|-------|
| 1         | 2                      | 3                     | 4     | 5                   | 6     |
| Тр-р      | 2                      | 1                     | 3,85  |                     | 0,145 |
| Выкл      | 2                      | 3                     |       |                     |       |
| Тр-р      | 3                      | 4                     | 11,83 | 3,85                | 1     |

Продолжение таблицы 19

| 1    | 2  | 3  | 4     | 5     | 6     |
|------|----|----|-------|-------|-------|
| Тр-р | 4  | 5  |       |       | 0,318 |
| Тр-р | 4  | 6  | 7,43  | 7,43  | 0,055 |
| ЛЭП  | 5  | 7  | 2,27  | 6,71  |       |
| Тр-р | 7  | 8  | 21,06 | 21,06 | 0,171 |
| Выкл | 7  | 9  |       |       |       |
| Выкл | 8  | 10 |       |       |       |
| Тр-р | 9  | 10 | 23    | 23    | 0,171 |
| ЛЭП  | 9  | 12 | 0,55  | 1,65  |       |
| Тр-р | 12 | 13 | 10,1  | 10,1  | 0,171 |
| Выкл | 12 | 14 |       |       |       |
| Тр-р | 14 | 15 | 10,1  | 10,1  | 0,171 |
| ЛЭП  | 14 | 16 | 0,55  | 1,65  |       |
| Выкл | 15 | 13 |       |       |       |
| Тр-р | 16 | 17 | 11,1  | 11,1  | 0,171 |
| ЛЭП  | 18 | 5  | 3,24  | 9,72  |       |
| Тр-р | 18 | 19 | 11,1  | 11,1  | 0,171 |
| Выкл | 18 | 16 |       |       |       |
| ЛЭП  | 18 | 20 | 1,18  | 3,54  |       |
| Выкл | 19 | 17 |       |       |       |
| Тр-р | 20 | 21 | 7,4   | 7,4   | 0,171 |
| Тр-р | 22 | 23 | 7,4   | 7,4   | 0,171 |
| Выкл | 22 | 20 |       |       |       |
| ЛЭП  | 22 | 25 | 1,37  | 2,11  |       |
| ЛЭП  | 22 | 38 | 1,76  | 5,28  |       |
| Выкл | 23 | 21 |       |       |       |
| ЛЭП  | 25 | 29 | 1,15  | 3,45  |       |
| ЛЭП  | 25 | 31 | 1,15  | 3,45  |       |
| Тр-р | 27 | 26 | 6,8   | 6,8   | 0,055 |
| Тр-р | 27 | 25 |       |       | 0,318 |
| Тр-р | 28 | 27 | 11    | 11    | 1     |
| ЛЭП  | 28 | 54 | 11,51 | 34,53 |       |
| ЛЭП  | 28 | 55 | 11,51 | 34,53 |       |

Продолжение таблицы 19

| 1    | 2  | 3  | 4     | 5    | 6     |
|------|----|----|-------|------|-------|
| ЛЭП  | 28 | 58 | 2,43  | 7,29 |       |
| Тр-р | 29 | 30 | 14,6  | 14,6 | 0,171 |
| Выкл | 29 | 31 |       |      |       |
| Выкл | 30 | 32 |       |      |       |
| Тр-р | 31 | 32 | 14,6  | 14,6 | 0,171 |
| ЛЭП  | 31 | 34 | 1,25  | 3,75 |       |
| Тр-р | 34 | 35 | 11,1  | 11,1 | 0,171 |
| Выкл | 34 | 36 |       |      |       |
| Выкл | 35 | 37 |       |      |       |
| Тр-р | 36 | 37 | 11,1  | 11,1 | 0,171 |
| Тр-р | 38 | 39 | 23    | 23   | 0,171 |
| Выкл | 38 | 40 |       |      |       |
| Тр-р | 40 | 41 | 23    | 23   | 0,171 |
| ЛЭП  | 40 | 42 | 0,94  | 2,82 |       |
| Выкл | 41 | 39 |       |      |       |
| Тр-р | 42 | 43 | 23    |      | 0,171 |
| Выкл | 42 | 44 |       |      |       |
| Выкл | 43 | 45 |       |      |       |
| Тр-р | 44 | 45 | 23    |      | 0,171 |
| ЛЭП  | 44 | 50 | 4,2   | 12,6 |       |
| Тр-р | 46 | 47 | 14,6  |      | 0,171 |
| ЛЭП  | 46 | 5  | 1,68  | 5,04 |       |
| Тр-р | 48 | 49 | 14,6  |      | 0,171 |
| Выкл | 48 | 46 |       |      |       |
| Выкл | 49 | 47 |       |      |       |
| ЛЭП  | 50 | 48 | 2,39  | 7,17 |       |
| Тр-р | 52 | 50 |       |      | 0,318 |
| Тр-р | 52 | 51 | 17,85 |      | 0,055 |
| Тр-р | 53 | 52 | 28,45 |      | 1     |
| ЛЭП  | 53 | 54 | 0,68  | 2,04 |       |
| ЛЭП  | 53 | 55 | 0,68  | 2,04 |       |
| ЛЭП  | 54 | 3  | 3,11  | 9,33 |       |

| 1    | 2  | 3  | 4    | 5     | 6     |
|------|----|----|------|-------|-------|
| ЛЭП  | 55 | 3  | 3,19 | 9,57  |       |
| Тр-р | 56 | 57 | 86,7 |       | 0,055 |
| ЛЭП  | 56 | 3  | 5,67 | 17,01 |       |
| Тр-р | 58 | 59 | 86,7 |       | 0,055 |
| Выкл | 58 | 56 |      |       |       |
| Выкл | 59 | 57 |      |       |       |

Рассмотрим расчёт токов короткого замыкания на примере ПС Шахтовая. Расчёт токов КЗ начинается с выбора расчетного места КЗ. Место выбирается таким образом, чтобы выявить наиболее тяжелый случай КЗ. Узлами для токов короткого замыкания выберем первую и вторую шины ВН, а так же шины НН данной ПС.

При расчёте токов КЗ приняты следующие допущения: при определении сопротивления системы со стороны Артёмовской ТЭЦ используется расчётные данные о токах короткого замыкания с учётом перспективы.

Подробный расчёт токов короткого замыкания проводим для узла 18.

При помощи ПВК RastrWin3 находим периодическую составляющую тока короткого замыкания в начальный момент времени. Значение тока составляет 4,115 кА.

Значение апериодической составляющей тока короткого замыкания определяется по следующей формуле:

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot e^{\frac{-T_{об}}{T_a}}, \quad (17)$$

Где  $I_{по}$  – периодическая составляющая тока короткого замыкания в начальный момент времени, кА;

$T_{об}$  – время отключения выключателя с учетом работы защиты (в настоящей работе  $T_{об} = 0,06$  с);

$T_a$  – постоянная времени, с.

$$T_a = \frac{X_p}{\omega \cdot R_p}, \quad (18)$$

где  $X_p$  – результирующее индуктивное сопротивление до точки короткого замыкания, Ом;

$R_p$  – результирующее активное сопротивление для точки короткого замыкания, Ом;

$\omega$  – угловая частота (314 рад/с).

Результирующее активное сопротивление до точки короткого замыкания определяется аналогично индуктивному сопротивлению. Примем  $T_a = 0,2$  с.

Значение ударного тока короткого замыкания определяется по формуле:

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}\right), \quad (19)$$

Рассчитаем по формуле 17 аperiodическую составляющую тока:

$$I_{ат} = \sqrt{2} \cdot 3,115 \cdot e^{\frac{-0,06}{0,02}} = 0,219 \text{ кА.}$$

По формуле 19 рассчитаем значение ударного тока:

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot 3,115 \cdot \left(1 + e^{\frac{-0,01}{0,02}}\right) = 9,44 \text{ кА.}$$

Аналогично проводится расчёт токов короткого замыкания следующих ПС: «Западная», «Артёмовская», Шахтовая». Результаты расчёта сведём в таблицу 20. Подробный расчёт токов КЗ представлен в приложении Г.

Таблица 20 – результаты расчётов токов прямой последовательности

| Расчётный узел короткого замыкания | Вид короткого замыкания | $I_{пп}$ , кА | $I_{ат}$ , кА | $I_{уд}$ , кА | $I_{оп}$ , кА | $I_0$ , кА |
|------------------------------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| 1                                  | 2                       | 3             | 4             | 5             | 6             | 7          |
| 16                                 | Трёхфазное              | 4,05          | 0,285         | 9,202         | –             | –          |
|                                    | Двухфазное              | 2,02          | 0,142         | 4,589         | 2,0232        | –          |
|                                    | Однофазное              | 1,01          | 0,071         | 2,295         | 1,0102        | 1,0102     |
|                                    | Двухфазное на землю     | 2,42          | 0,17          | 5,498         | 1,6195        | 0,8075     |
| 17                                 | Трёхфазное              | 7,34          | 0,517         | 16,676        | –             | –          |
|                                    | Двухфазное              | 3,67          | 0,258         | 8,338         | 3,6701        | –          |
|                                    | Однофазное              | 2,21          | 0,156         | 5,021         | 2,2163        | 2,2163     |
|                                    | Двухфазное на землю     | 4,68          | 0,33          | 10,633        | 2,6573        | 2,0255     |
| 18                                 | Трёхфазное              | 4,15          | 0,292         | 9,43          | –             | –          |
|                                    | Двухфазное              | 2,07          | 0,146         | 4,703         | 2,07          | –          |
|                                    | Однофазное              | 1,03          | 0,073         | 2,34          | 1,0388        | 1,0388     |
|                                    | Двухфазное на землю     | 2,49          | 0,175         | 5,657         | 1,662         | 0,8311     |
| 19                                 | Трёхфазное              | 7,4           | 0,521         | 16,813        | –             | –          |
|                                    | Двухфазное              | 3,7           | 0,261         | 8,406         | 3,7001        | –          |
|                                    | Однофазное              | 2,24          | 0,158         | 5,089         | 2,2394        | 2,2394     |
|                                    | Двухфазное на землю     | 4,47          | 0,315         | 10,156        | 2,6748        | 2,0505     |
| 28                                 | Трёхфазное              | 6,52          | 0,459         | 14,813        | –             | –          |
|                                    | Двухфазное              | 3,26          | 0,23          | 7,407         | 3,2611        | –          |
|                                    | Однофазное              | 3,26          | 0,23          | 7,407         | 3,2611        | 3,2611     |
|                                    | Двухфазное на землю     | 6,52          | 0,459         | 14,813        | 3,45          | 3,07       |
| 22                                 | Трёхфазное              | 5,83          | 0,41          | 13,246        | –             | –          |
|                                    | Двухфазное              | 2,91          | 0,205         | 6,611         | 2,9125        | –          |
|                                    | Однофазное              | 2,23          | 0,157         | 5,067         | 2,233         | 2,2330     |
|                                    | Двухфазное на землю     | 4,23          | 0,298         | 9,61          | 1,5989        | 2,6272     |
| 20                                 | Трёхфазное              | 3,34          | 0,235         | 7,588         | –             | –          |
|                                    | Двухфазное              | 1,67          | 0,118         | 3,794         | 1,6717        | –          |
|                                    | Однофазное              | 0,79          | 0,056         | 1,795         | 0,797         | 0,7970     |
|                                    | Двухфазное на землю     | 1,98          | 0,139         | 4,499         | 1,3616        | 0,6203     |

#### 4 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИИ «ШАХТОВАЯ»

При реконструкции или проектировании энергетических объектов выбор электрооборудования является важным этапом, ведь в зависимости от того, правильно ли проведён выбор оборудования, зависит надёжность всей подстанции или же станции, а также бесперебойное электроснабжение потребителей.

Все элементы распределительных устройств электрической подстанции или станции должны надёжно и максимально долго работать в условиях нормальных режимов электрической сети, и, помимо этого, должны обладать достаточной динамической и термической стойкостью при возникновении коротких замыканий. Именно поэтому, при выборе аппаратов, шинных, изолирующих конструкций и других элементов распределительных устройств важна проверка соответствия их параметров длительным рабочим и кратковременным аварийным режимам, которые могут возникать в эксплуатации данной электрической установки.

Основными параметрами оборудования, которые должны соответствовать условиям нормального режима, является номинальный ток и номинальное рабочее напряжение оборудования. При проверке электрических аппаратов и токоведущих частей распределительных устройств на динамическую и термическую стойкость за расчётный вид короткого замыкания принимают трёхфазное КЗ.

Кроме того, необходимо учитывать внешние условия работы оборудования, например температурные показатели, загрязнённость атмосферы, высоту над уровнем моря, так как эти условия могут потребовать оборудования специального исполнения, обладающего повышенной стойкостью и защищённостью к данным условиям работы. Для учёта данных условий работы, ранее была приведена характеристика района исследуемого района сети.

При выборе электрического оборудования необходимо руководствоваться статистическими данными о надёжности выбираемого оборудования, простоте обслуживания и эксплуатации, а также о стоимости. Так же выборе любого оборудования целесообразно применение устройств одного производителя из-за наилучшей их совместимости между собой. Определяющим фактором выбора является соответствие данного оборудования выбранной схеме распределительного устройства.

Также для выбора оборудования для распределительного устройства необходимы данные о максимальных рабочих токах, протекаемые по распределительному устройству, которые определяются из расчёта режимов электрической сети. Значения максимальных рабочих токов указаны в таблице 21. В данном разделе будет произведён выбор и проверка следующего оборудования: выключатели, разъединители, трансформаторы тока и напряжения, гибкая ошиновка, нелинейные ограничители перенапряжений.

Таблица 21 – Максимальные рабочие токи в ПС «Шахтовая»

| Номинальное напряжение, кВ | Максимальный рабочий ток, А |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1                          | 2                           |
| 35                         | 141                         |
| 10                         | 820                         |

На данной подстанции на напряжении 35 кВ будет установлено комплектное распределительное устройство типа СЭЩ-65. Данное КРУ применяется для комплектования трансформаторных подстанций 35/6-10, 110/35/6-10, 220/35/6-10 кВ на стороне 35 кВ. На напряжении 6 кВ будет установлено КРУ типа СЭЩ-59. Далее выбор оборудования будет определяться в зависимости от комплекта поставки данных распределительных устройств. В следствии того, что на напряжении 6 и 35 кВ будет установлено КРУ, то установка разъединителей будет необходима только для приёмного блока.

#### **4.1 Выбор выключателей**

Выключатель – это электрический аппарат, предназначенный для отключения и включения цепей высокого напряжения в нормальных и

аварийных режимах. Выключатель является основным коммутационным аппаратом в электрических установках высокого напряжения, он служит для отключения и включения цепи в любых режимах [11].

К выключателям высокого напряжения предъявляются следующие требования: надёжное отключение токов любой величины – от десятков ампер до номинального тока отключения; быстрота действия, то есть наименьшее время отключения; пригодность для автоматического повторного включения, то есть быстрое включение сразу после отключения; удобство ревизии и осмотра контактов и механической части; взрыво- и пожаробезопасности; удобство транспортировки и обслуживания [11].

В данном дипломном проекте предусматривается установка вакуумных выключателей, так как они являются наиболее перспективными при номинальных напряжениях 10-35 кВ.

По сравнению с масляными выключателями, вакуумные выключатели обладают высокими техническими характеристиками:

- большими значениями номинального напряжения и номинального тока отключения;
- высоким ресурсом по коммутационной и механической стойкости;
- минимум обслуживания;
- низкими эксплуатационными затратами;
- отсутствием загрязнения окружающей среды.

Выбор и проверка выключателей осуществляется по следующим параметрам:

- напряжению установки;
- длительному току;
- по включающей способности;
- по отключающей способности;
- по электродинамической стойкости;
- по термической стойкости [23].

Условия выбора:

$$U_{\text{ном.эл.об}} \geq U_{\text{ном.эл.уст}}, \quad (20)$$

где  $U_{\text{ном.эл.об}}$  – номинальное напряжение электрооборудования;

$U_{\text{ном.эл.уст}}$  – номинальное напряжение электроустановки.

$$I_{\text{ном.эл.об}} \geq I_{\text{раб.макс}}, \quad (21)$$

где  $I_{\text{раб.макс}}$  – максимально возможный рабочий ток присоединения;

$I_{\text{ном.эл.об}}$  – номинальный ток электрического оборудования.

В первую очередь производится проверка на симметричный ток отключения по условию:

$$I_{\text{п0}} \geq I_{\text{откл.ном}}, \quad (22)$$

где  $I_{\text{откл.ном}}$  – ток отключающей способности выключателя.

Затем проверяется возможность отключения апериодической составляющей тока КЗ:

$$i_{\text{ат}} \leq i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot \frac{\beta_{\text{н}}}{100} \cdot I_{\text{откл.ном}}, \quad (23)$$

где  $i_{\text{а.ном}}$  – номинальное допустимое значение апериодической составляющей в отключаемом токе, кА;

$\beta_{\text{н}}$  – номинальное относительное содержание апериодической составляющей, %;

$i_{\text{ат}}$  – апериодическая составляющая тока КЗ в момент расхождения

контактов  $\tau$ , кА.

Апериодическая составляющая тока короткого замыкания в момент расхождения контактов  $\tau$  равна:

$$i_{ac} = \sqrt{2}I_{п0} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (24)$$

Если условие  $I_{п0} \leq I_{откл.ном}$  соблюдается, а  $i_{a\tau} > i_{a.ном}$ , тогда допускается проверку выключателей по отключающей способности производить по полному току короткого замыкания по условию:

$$(\sqrt{2}I_{п0} + i_{a\tau}) \leq I_{откл.ном} \cdot \left(1 + \frac{\beta_H}{100}\right). \quad (25)$$

По включающей способности проверка выключателей производится по условиям:

$$i_y \leq i_{вкл}; \quad (26)$$

$$i_{п0} \leq I_{вкл}, \quad (27)$$

Где  $i_y$  – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя, кА;

$i_{вкл}$  – наибольший ток включения, кА;

$I_{вкл}$  – номинальный ток включения, кА.

Величина ударного тока определяется по следующей формуле:

$$i_y = \sqrt{2}I_{п0} \cdot k_y, \quad (28)$$

где  $k_y$  – ударный коэффициент

Выключатели так же проверяются на электродинамическую и термическую стойкость к токам короткого замыкания

Электродинамической стойкостью аппарата называют его свойство противостоять действию тока короткого замыкания в течение первых нескольких периодов без механических повреждений, которые возникают за счёт действия на него сил Ампера, в свою очередь вызванные протеканием больших токов по проводящим элементам аппарата.

Изготовители электрического оборудования характеризуют электродинамическую стойкость номинальным током электродинамической стойкости, под которым понимают наибольший гарантированный заводом начальный ток короткого замыкания, который аппарат выдерживает без механических повреждений.

Гарантированные значения тока короткого замыкания ни в коем случае не должны быть превышены в течение сколь угодно длительного времени. На электродинамическую стойкость к токам КЗ выключатель проверяется по предельным сквозным токам короткого замыкания:

$$i_y \leq i_{\text{дин}} , \quad (29)$$

где  $i_{\text{дин}}$  – действующее значение периодической составляющей предельного сквозного тока короткого замыкания, кА;

Термической стойкостью аппарата называют его способность противостоять тепловому действию тока короткого замыкания без повреждений, которые будут препятствовать дальнейшей работе аппарата.

Термическую стойкость аппаратов изготовители характеризуют током термической стойкости и временем его прохождения через оборудование.

Током термической стойкости аппарата называют действующее значение периодического тока, установленный изготовителем на основании соответствующих тепловых расчётов и испытаний в качестве номинального параметра аппарата. Аппарат должен выдерживать этот ток в течение времени термической стойкости. На термическую стойкость выключатель проверяется по тепловому импульсу тока КЗ:

$$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}, \quad (30)$$

где  $B_k$  – тепловой импульс тока короткого замыкания,  $\text{kA}^2 \cdot \text{с}$ ;

$I_{\text{тер}}$  – среднеквадратичное значение тока за время его протекания,  $\text{kA}$ ;

$t_{\text{тер}}$  – время протекания тока термической стойкости,  $\text{с}$ .

Полный импульс тока короткого замыкания определяется по формуле:

$$B_k = I_{\text{п0}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a), \quad (31)$$

Где  $t_{\text{отк}}$  – время отключения,  $\text{с}$ .

Согласно ПУЭ время отключение равно:

$$t_{\text{отк}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{отк.в}}, \quad (32)$$

где  $t_{\text{рз}}$  – время срабатывания релейной защиты,  $\text{с}$ ;

$t_{\text{отк.в}}$  – полное время отключение выключателя,  $\text{с}$ .

Выбор выключателей необходимо провести в распределительных устройствах 35 и 10 кВ. В качестве примера подробно разберём выбор выключателей на стороне 35 кВ. Сопоставление каталожных и расчётных данных для всех остальных выключателей сведём в таблицу.

Как уже ранее было сказано, в качестве распределительного устройства было выбрано КРУ типа СЭЩ-65, в котором принимаются к установке вакуумные выключатели марки ВВУ СЭЩ-П(Э)-35-20/1000, ЗАН5-312-2, ЗАН5-314-2. Предварительно примем к установке выключатели ВВУ СЭЩ-П-35-20/1000, т.к. они имеют более оптимальное значение номинального рабочего тока. Данный выключатель может иметь электромагнитный привод, либо привод использующий энергию предварительно взведённой пружины.

Рассчитаем ток апериодической составляющей:

$$I_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \frac{40}{100} \cdot 20 = 11,314 \text{ кА.}$$

Ток термической стойкости равен:

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Полный импульс тока короткого замыкания в месте установки:

$$B_k = 4,155 \cdot (2,05 + 0,02) = 10,595 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Сравнение расчётных и каталожных данных выключателя ВВУ СЭЦ-П(Э)-35-20/1000 представлены в таблице 21.

Таблица 22 – Параметры выбора выключателя ВВУ СЭЦ-П-35-20/1000

| Каталожные данные  | Расчетные данные                           | Условия выбора и проверки          |
|--|--|------------------------------------|
| 1  | 2  | 3                                  |
| $U_{ном} = 35 \text{ кВ}$                                    | $U_{уст} = 35 \text{ кВ}$                  | $U_{уст} \leq U_{ном}$             |
| $I_{ном} = 1000 \text{ А}$                                   | $I_{раб.мах} = 141 \text{ А}$              | $I_{раб.мах} \leq I_{ном}$         |
| $I_{откл.ном} = 20 \text{ кА}$                               | $I_{п0}^{(3)} = 4,155 \text{ кА}$          | $I_{п0}^{(3)} \leq I_{ном}$        |
| $I_{a.ном} = 11,314 \text{ кА}$                              | $i_{a.c} = 0,293 \text{ кА}$               | $i_{a.c} \leq I_{a.ном}$           |
| $i_{вкд} = 52 \text{ кА}$                                    | $i_{уд} = 9,44 \text{ кА}$                 | $i_{уд} \leq i_{вкд}$              |
| $I_{вкл} = 20 \text{ кА}$                                    | $I_{п0}^{(3)} = 4,155 \text{ кА}$          | $I_{п0}^{(3)} \leq I_{вкл}$        |
| $i_{дин} = 52 \text{ кА}$                                    | $i_{уд} = 9,44 \text{ кА}$                 | $i_{уд} \leq i_{дин}$              |
| $I_{дин} = 20 \text{ кА}$                                    | $I_{п0}^{(3)} = 4,155 \text{ кА}$          | $I_{п0}^{(3)} \leq I_{дин}$        |
| $I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $B_k = 10,595 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ |

Данный выключатель прошёл проверку по всем указанным параметрам, на основании этого он может быть принят к установке.

В комплектном распределительном устройстве СЭЦ-59 в поставку могут входить выключатели: ВВУ-СЭЦ-10-ПЗ-10-20/1000 У2, ВВ/TEL-10-20/1600 У2, ВВ/TEL-10-20/1000 У2, ВВ/TEL-10-20/1600 У2. Изначально принимаем к

установке на ПС «Шахтовая» вакуумный выключатель ВВУ-СЭЩ-10-ПЗ-10-20/1000 У2 с пружинно-моторным приводом.

Таблица 23 – Параметры выбора выключателя ВВУ-СЭЩ-10-ПЗ-10-20/1000 У2

| Каталожные данные  | Расчетные данные                          | Условия выбора и проверки          |
|--|---|------------------------------------|
| 1  | 2   | 3                                  |
| $U_{ном} = 10 \text{ кВ}$                                    | $U_{уст} = 6 \text{ кВ}$                  | $U_{уст} \leq U_{ном}$             |
| $I_{ном} = 1000 \text{ А}$                                   | $I_{раб.мах} = 820 \text{ А}$             | $I_{раб.мах} \leq I_{ном}$         |
| $I_{откл.ном} = 20 \text{ кА}$                               | $I_{п0}^{(3)} = 7,4 \text{ кА}$           | $I_{п0}^{(3)} \leq I_{ном}$        |
| $I_{а.ном} = 11,314 \text{ кА}$                              | $i_{а.с} = 0,521 \text{ кА}$              | $i_{а.с} \leq I_{а.ном}$           |
| $i_{вкд} = 50 \text{ кА}$                                    | $i_{уд} = 16,813 \text{ кА}$              | $i_{уд} \leq i_{вкд}$              |
| $I_{вкл} = 20 \text{ кА}$                                    | $I_{п0}^{(3)} = 7,4 \text{ кА}$           | $I_{п0}^{(3)} \leq I_{вкл}$        |
| $i_{дин} = 50 \text{ кА}$                                    | $i_{уд} = 16,813 \text{ кА}$              | $i_{уд} \leq i_{дин}$              |
| $I_{дин} = 20 \text{ кА}$                                    | $I_{п0}^{(3)} = 7,4 \text{ кА}$           | $I_{п0}^{(3)} \leq I_{дин}$        |
| $I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $V_k = 18,87 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $V_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ |

Данный выключатель прошёл проверку по всем указанным параметрам, на основании этого он может быть принят к установке.

#### 4.2 Выбор разъединителей

Разъединитель – это коммутационный аппарат, который предназначен для создания видимого изоляционного промежутка в сети при проведении ремонтных работ, осмотров обесточенных участков и оперативных переключениях, с целью обеспечения безопасности персонала. Коммутации разъединителями в основном производятся при отсутствии тока, но допускается включать и отключать ток холостого хода трансформаторов и зарядный ток линий, токи нагрузки трансформаторов небольшой мощности, а также переключать электрические цепи под током при наличии замкнутой шунтирующей цепи. Разъединителями не допускается отключение цепи под нагрузкой, так как это приводит к возникновению устойчивой дуги, вызывающей КЗ между фазами.

Выбор разъединителей производится по следующим параметрам:

- по напряжению установки;
- по максимальному рабочему току;
- по току электродинамической стойкости;
- по току термической стойкости;
- по конструкции;
- по условиям установки.

На приёмном блоке подстанции «Шахтовая» примем к установке разъединители наружного исполнения типа РГП-СЗЩ-35/1000 УХЛ1.

Сопоставление каталожных данных с расчётными для разъединителя РГП-СЗЩ-35/1000 УХЛ1 представлены в таблице 24. Ток термической стойкости в таблице представлен для главных и заземляющих ножей.

Таблица 24 – Параметры выбора разъединителя РГП-СЭЩ-35/1000-УХЛ1

| Каталожные данные   | Расчетные данные                    | Условия выбора                       |
|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| $U_{ном} = 35$ кВ   | $U_{уст} = 35$ кВ                   | $U_{уст} \leq U_{ном}$               |
| $I_{ном} = 1000$ А  | $I_{раб.мах} = 577$ А               | $I_{раб.мах} \leq I_{ном}$           |
| $I_{мер}^2 \cdot t_{мер} = 20^2 \cdot 3 = 1200$ кА <sup>2</sup> ·с<br>$I_{мер}^2 \cdot t_{мер} = 20^2 \cdot 1 = 400$ кА <sup>2</sup> ·с | $B_{к} = 122,09$ кА <sup>2</sup> ·с | $B_{к} \leq I_{мер}^2 \cdot t_{мер}$ |
| $i_{дин} = 50$ кА   | $i_{уд} = 11,47$ кА                 | $i_{уд} \leq i_{пр.с}$               |

В установке разъединителей на стороне 10 кВ нет необходимости, поэтому выбор этих аппаратов для данного КРУ не производится.

### 4.3 Выбор трансформаторов тока

Трансформаторы тока необходимы для подключения измерительных приборов и устройств защиты и управления, а также для изолирования цепей вторичных соединений от высокого напряжения в КРУ внутренней и наружной установки.

Выбор трансформаторов тока осуществляется по следующим параметрам:

- по напряжению установки;
- по номинальному току, причём номинальный ток должен быть как можно ближе к рабочему току установки, так как недогрузка первичной обмотки приводит к увеличению погрешности измерения;

- по току электродинамической стойкости;
- по току термической стойкости;
- по конструкции и классу точности;
- по вторичной нагрузке:

Для выбора трансформатора тока необходимо определить нагрузку вторичной обмотки:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{ном}} , \quad (33)$$

где  $Z_2$  – вторичная нагрузка трансформатора тока;

$Z_{2\text{ном}}$  – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности.

Индуктивное сопротивление токовых цепей невелико, поэтому:

$$Z_2 \leq R_2 . \quad (34)$$

Вторичная нагрузка  $R_2$  состоит из сопротивления приборов  $R_{\text{приб}}$ , соединительных проводов  $R_{\text{пр}}$  и переходного сопротивления контактов  $R_{\text{к}}$ :

$$R_2 = R_{\text{приб}} + R_{\text{пр}} + R_{\text{к}} . \quad (35)$$

Сопротивление контактов принимается равным 0,05 Ом при количестве приборов до трёх, при большем – 0,01 Ом.

Сопротивление приборов определяется из соотношения:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} , \quad (36)$$

где  $I_2^2$  – вторичный номинальный ток прибора

$S_{\text{приб}}$  – номинальная мощность прибора

Сопротивление проводов должно удовлетворять условию:

$$r_{\text{пр}} \leq Z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}}. \quad (37)$$

Исходя из данного условия, найдём минимальное сечение провода:

$$S_{\text{min}} = \frac{l_{\text{расч}}}{r_{\text{пр}} \cdot \gamma}, \quad (38)$$

где  $\gamma$  – удельная проводимость материала провода, 54 м/Ом·мм<sup>2</sup> для меди;

$l_{\text{расч}}$  – расчётная длина провода, зависящая от схемы соединения трансформаторов тока с приборами, м.

При включении схемы соединения измерительных трансформаторов тока и приборов в одну фазу:

$$l_{\text{расч}} = 2l, \quad (39)$$

где  $l$  – длина соединительных проводов от трансформатора тока до приборов, м.

При включении схемы в неполную звезду:

$$l_{\text{расч}} = \sqrt{3}l. \quad (40)$$

При включении схемы в полную звезду:

$$l_{\text{расч}} = l. \quad (41)$$

Длину соединительных проводов от трансформатора тока до приборов можно принять для разных присоединений приблизительно равной значениям, приведённым в таблице 25.

Таблица 25 – Длина проводов от трансформатора тока до приборов

| Присоединение, кВ | Длина, м |
|-------------------|----------|
| 1                 | 2        |
| КРУ 6-10 кВ       | 3-5      |
| КРУ 35 кВ         | 50-60    |

В качестве примера произведём расчёты для выбора трансформатора тока в линейной ячейке КРУ 35 кВ. В поставку данной ячейки входят трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-35-200/1. Для измерения необходимых величин предлагается установить трёхфазный измерительный комплекс Меркурий 233. В таблице 26 представлен перечень приборов, подключаемых к трансформатору тока в данной ячейке.

На напряжении 6 кВ будут установлены трансформаторы тока ТОЛ-СЭЩ-10-1000/5. В таблице 26 указаны приборы, которые будут подключены к вторичной обмотке данного трансформатора тока.

Таблица 26 – приборы, подключённые к трансформаторам тока 35 кВ

| Прибор     | Тип          | Нагрузка фазы, В·А |
|------------|--------------|--------------------|
| 1          | 2            | 3                  |
| Амперметр  | Э-350        | 0,5                |
| Ваттметр   | Д-335        | 0,5                |
| Варметр    | Д-335        | 0,5                |
| Счётчик АЭ | Меркурий 233 | 0,12               |
| Счётчик РЭ |              |                    |

Таблица 27 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 6 кВ

| Прибор     | Тип          | Нагрузка фазы, В·А |
|------------|--------------|--------------------|
| 1          | 2            | 3                  |
| Амперметр  | Э-350        | 0,5                |
| Счетчик АЭ | Меркурий 233 | 0,12               |

|            |  |  |
|------------|--|--|
| Счетчик РЭ |  |  |
|------------|--|--|

Определяем общее сопротивление приборов:

$$r_{\text{приб}} = \frac{1,62}{1^2} = 1,62 \text{ Ом.}$$

Сопротивление проводов равно:

$$r_{\text{пров}} = \frac{0,0283 \cdot 50}{4} = 0,354 \text{ Ом.}$$

Вторичная нагрузка трансформатора тока:

$$Z_2 = 0,354 + 1,62 + 0,05 = 2,024 \text{ Ом.}$$

Таблица 28 – Проверка ТТ ТОЛ-СЭЩ-35-200/1

| Номинальные параметры трансформатора тока   |      | Расчётные данные | Условия выбора и проверки                                 |
|---|------|------------------|---|
| 1   | 2    | 3                | 4   |
| Номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$ , кВ  | 35   | 35               | $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном.сети}}$                 |
| Номинальный ток $I_{\text{ном}}$ , А  | 200  | 141              | $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс.раб}}$                 |
| Предельный сквозной ток $I_{\text{прскв}}$ , $I_{\text{уд}}$ , кА                   | 20   | 9,44             | $I_{\text{прскв}} \geq I_{\text{уд}}$                     |
| Термическая стойкость, $I_{\text{тер}}^2 \times t_{\text{тер}}$ , кА <sup>2</sup> с | 1200 | 10,595           | $I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \geq B_{\text{к}}$ |
| Номинальная вторичная нагрузка $Z_{2\text{ном}}$ , Ом                               | 20   | 2,024            | $Z_{2\text{ном}} \geq z_2$                                |

Данный трансформатора тока прошёл проверку по всем параметрам, поэтому мы можем принять его к установке.

Таблица 29 – Проверка ТОЛ-СЭЩ-10-1000/5

| Номинальные параметры трансформатора тока                             |      | Расчётные данные | Условия выбора и проверки          |
|---|------|------------------|------------------------------------|
| 1   | 2    | 3                | 4                                  |
| Номинальное напряжение $U_{ном}$ , кВ                                 | 10   | 6                | $U_{ном} \geq U_{ном.сети}$        |
| Номинальный ток $I_{ном}$ , А   | 1000 | 820              | $I_{ном} \geq I_{макс.раб}$        |
| Предельный сквозной ток $I_{прскв}$ , $I_{уд}$ , кА                   | 40   | 16,813           | $I_{пр.скв} \geq I_{уд}$           |
| Термическая стойкость, $I_{тер}^2 \times t_{тер}$ , кА <sup>2</sup> с | 4800 | 16,813           | $I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$ |
| Номинальная вторичная нагрузка $Z_{2ном}$ , Ом                        | 20   | 0,11             | $Z_{2ном} \geq Z_2$                |

Принимаем к установке трансформатор тока ТОЛ-СЭЩ-10-1000/5 по стороне 6 кВ

#### 4.4 Выбор трансформаторов напряжения

Трансформаторы напряжения выбираются [11]:

- по напряжению установки
- по конструкции и схеме соединения;
- по классу точности;
- по вторичной нагрузке

$$S_{2ном} \geq S_2 \quad (42)$$

где  $S_{2ном}$  – номинальная мощность в выбранном классе точности;

$S_2$  – нагрузка измерительных приборов, присоединённых к трансформатору напряжения.

Приборы, подключённые к вторичной цепи трансформаторов напряжения приведён в таблице 30.

Таблица 30 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 35 кВ

| Тип прибора | Прибор      | Количество приборов | Потребляемая мощность, В·А |
|-------------|-------------|---------------------|----------------------------|
| 1           | 2           | 3                   | 4                          |
| Вольтметр   | Э-335       | 2                   | 2                          |
| Варметр     | Д-335       | 3                   | 1,5                        |
| Ваттметр    | Д-335       | 3                   | 1,5                        |
| Счетчик АЭ  | Ртутный 233 | 3                   | 1                          |
| Счетчик РЭ  |             |                     |                            |
| Сумма       |             |                     | 22                         |

Принимаем к установке на стороне 35 кВ трансформатор напряжения ЗНОЛ-СЭЩ-35-IV

Таблица 31 – Проверка трансформатора напряжения ЗНОЛ-СЭЩ-35-IV

| Номинальные параметры ТН                             |       | Расчётные данные | Условия выбора и проверки |
|--|-------|------------------|---------------------------|
| Номинальная вторичная нагрузка в классе точности 0,2 | 25 ВА | 22 ВА            | $S_{2ном} \geq S_2$       |

Данный трансформатора прошёл проверку. Принимаем ТН ЗНОЛ-СЭЩ-35-IV к установке

На стороне 6 кВ КРУ СЭЩ-59 комплектуется трансформаторами напряжения ЗНОЛ-СЭЩ-6. Произведём проверку данного оборудования.

Таблица 32 – Нагрузка, присоединённая к вторичной цепи ТН ЗНОЛ-СЭЩ-6

| Тип прибора | Прибор      | Количество приборов | Потребляемая мощность, В·А |
|-------------|-------------|---------------------|----------------------------|
| 1           | 2           | 3                   | 4                          |
| Вольтметр   | Э-335       | 2                   | 2                          |
| Варметр     | Д-335       | 2                   | 1,5                        |
| Ваттметр    | Д-335       | 2                   | 1,5                        |
| Счетчик АЭ  | Ртутный 233 | 3                   | 1                          |
| Счетчик РЭ  |             |                     |                            |
| Сумма       |             |                     | 13                         |

Таблица 33 – Проверка трансформатора напряжения ЗНОЛ-СЭЩ-6

| Номинальные параметры ТН                             |       | Расчётные данные | Условия выбора и проверки |
|--|-------|------------------|---------------------------|
| Номинальная вторичная нагрузка в классе точности 0,5 | 15 ВА | 13 ВА            | $S_{2ном} \geq S_2$       |

#### 4.5 Расчёт гибкой ошиновки

В КРУ 35 кВ применяются гибкие шины, которые выполнены проводами АС. Данными шинами соединяются КРУ 35 и 6 кВ с силовым трансформатором, установленным на ПС, а так же приёмным блоком воздушной линии 35 кВ.

Гибкие шины обычно закрепляют на гирляндах подвесных изоляторов с большим расстоянием между фазами.

Максимальный ток на стороне высокого напряжения подстанции составляет 141 А, следовательно для данных шин принимаем сечение провода АС-70/11, расположение фаз горизонтальное.

Выбранные провода проверяются на термическое воздействие тока короткого замыкания:

$$q_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} \leq q, \quad (43)$$

где  $C$  – коэффициент, зависящий от материала провода, для алюминия равен 90.

Проверим выбранный провод на термическое воздействие тока короткого замыкания:

$$q_{min} = \frac{\sqrt{10,595}}{90} = 36,167 \leq 70 \text{ мм}^2,$$

При токе трёхфазного КЗ менее 20 кА проверка шин на схлестывание не производится. Проверка по условиям короны производится только на напряжения свыше 35 кВ, следовательно в данном случае проверка не требуется.

В качестве токопровода для связи КРУ 10 кВ с трансформатором будем использовать пучок из нескольких проводов, скрученных по окружности в кольцах-обоймах. В качестве токопроводящих жил будем использовать 3 провода марки А-70. В качестве несущих проводов будем использовать 2 провода АС-70/11.

Проверим по допустимому току:

$$820 \leq 1350$$

Минимальное сечение по условиям термической стойкости:

$$q_{min} = \frac{\sqrt{18,87}}{90} = 48,226 .$$

Суммарное сечение токопровода больше допустимого, следовательно данный токопровод соответствует условию выбора.

На электродинамическую стойкость проверка не будет осуществляться, т.к. ток трёхфазного короткого замыкания составляет 7,4 кА, что меньше требуемого условия

#### **4.6 Выбор нелинейных ограничителей перенапряжения**

В отличие от разрядников, нелинейные ограничители перенапряжения не имеют искровых промежутков. Они предназначены для защиты изоляции установленного электрооборудования от грозовых и коммутационных перенапряжений. Ограничители перенапряжения устанавливаются, в том числе, взамен вентильных разрядников всех типов [15].

Выбор ОПН осуществляется в два этапа: предварительный выбор, окончательный выбор.

## 1. Предварительный выбор ОПН

Расчётную величину рабочего напряжения ОПН определим по формуле:

$$U_{\text{расч.ОПН}} = \frac{U_{\text{max.раб}}}{K_B}, \quad (44)$$

Где  $U_{\text{max.раб}}$  – максимальное рабочее напряжение;

$K_B$  - коэффициент, определяющийся по зависимостям вида  $K_B = f(\tau)$ , которая учитывает величину допустимого напряжения, за счёт сокращения кратности воздействия.

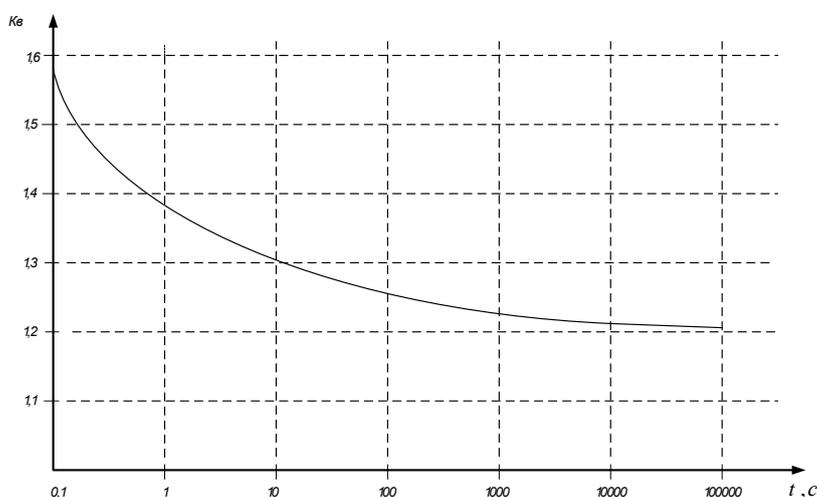


Рисунок 7 – График зависимости  $K_B = f(\tau)$

Максимальное рабочее напряжение в сетях до 35 кВ не должно превышать значения  $1,2 \cdot U_{\text{ном}}$ , в сетях 35-220 кВ –  $1,15 \cdot U_{\text{ном}}$

Определим максимальное рабочее напряжение в сетях 35 кВ:

$$U_{\text{max.раб}} = 1,15 \cdot 35 = 40,25 \text{ кВ.}$$

Время воздействия напряжения на изоляцию не более 10 минут. По рисунку 16 определим  $K_B = 1,24$

$$U_{\text{расч.ОПН}} = \frac{40,25}{1,24} = 32,46 \text{ кВ.}$$

Ориентировочное значение тока для ОПН, из справочных данных, для напряжения 35 кВ ПС «Осиновая речка» равно:  $I_k = 250 \div 300$  А.

Для величины импульсного тока  $I_k = 250 \div 300$  А удельная энергоёмкость принимает значение равное 2,15 кДж/кВ.

Выбираем ОПН на стороне низкого напряжения:

$$U_{max.раб} = 1,2 \cdot 6 = 7,2 \text{ кВ.}$$

Время воздействия напряжения на изоляцию не более 10 минут. По рисунку 16 определим  $K_B = 1,24$

$$U_{расч.ОПН} = \frac{7,2}{1,24} = 5,806 \text{ кВ.}$$

Ориентировочное значение тока для ОПН, из справочных данных, для напряжения 35 кВ ПС «Осиновая речка» равно:  $I_k = 100 \div 250$  А.

Для величины импульсного тока  $I_k = 100 \div 250$  А удельная энергоёмкость принимает значение равное 1,8 кДж/кВ.

Характеристики выбранных ограничителей перенапряжения сведены в таблицу 34.

Таблица 34 – Характеристика ограничителей перенапряжения

| Тип ОПН  | ОПНп-35/40,5/400<br>УХЛ1 | ОПНп-6/7,2/550<br>УХЛ1 |
|--|--------------------------|------------------------|
| 1  | 2                        | 3                      |
| Класс напряжения сети, кВ                              | 35                       | 6                      |
| Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, кВ | 40,5                     | 7,2                    |
| Номинальный разрядный ток, кА                          | 10                       | 10                     |
| Остающееся напряжение, кВ                              | 103                      | 21,3                   |
| Длина пути утечки, см                                  | 98                       | 21                     |
| Взрывобезопасность при токе КЗ длительностью 0,2 с, кА | 20                       | 10                     |
| Выдерживаемый импульсный ток, кА                       | 65                       | 100                    |

|  |      |      |
|--|------|------|
| Максимальное значение прямоугольного импульса тока длительностью 2 мс, А | 400  | 550  |
| Удельная поглощаемая энергия, кДж/кА, не менее                           | 2,25 | 3,24 |

## 5 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ПОДСТАНЦИИ «ШАХТОВАЯ»

### 5.1 Назначение и основные типы защиты трансформаторов

Силовые трансформаторы конструктивно весьма надёжны из-за отсутствия в них движущихся или вращающихся частей. Но несмотря на это в них в процессе эксплуатации возможны и имеют место повреждения и отклонения от нормальных режимов работы. Поэтому силовые трансформаторы должны оснащаться соответствующей релейной защитой [15].

В обмотках трансформаторов могут возникать короткие замыкания между витками одной фазы, между фазами, одной или двух фаз на землю, так же замыкания между обмотками разных напряжений. На вводах трансформаторов, ошиновке и в кабелях также могут возникать короткие замыкания между фазами и на землю.

Кроме указанных выше повреждений силовых трансформаторов в условиях эксплуатации могут происходить отклонения от нормальных режимов, к которым относят: прохождение через трансформатор сверхтоков при повреждении других связанных с силовым трансформатором элементов, перегрузка, выделение из масла горючих газов в следствии его разложения, снижение уровня масла, превышение максимальной допустимой температуры работы.

Из сказанного выше следует, что защита силовых трансформаторов должна выполнять следующие функции:

1. отключать трансформатор от источника питания при его повреждении;
2. отключать трансформатор от повреждённой части установки при

прохождении через него сверхтока в случаях повреждения шин или другого оборудования связанного с трансформатором, а также при повреждениях смежного оборудования и отказах его защиты или выключателей;

3. подавать предупредительный сигнал дежурному персоналу подстанции при перегрузке силового трансформатора, выделении газа из масла, при снижении уровня масла, или повышении его температуры.

На подстанции «Шахтовая» для защиты электрических аппаратов необходимо установить следующие виды защит:

Дифференциальная защита. Она предназначена для защиты силового трансформатора при различного рода повреждениях его обмоток, ошиновки и вводов трансформаторов.

Токовая отсечка. Она предназначена для защиты силового трансформатора при повреждениях ошиновки, вводов со стороны источника питания.

Газовая защита. Необходима для защиты при коротких замыканиях внутри бака трансформатора, сопровождающихся выделением газа, а также при снижениях уровня масла.

Максимальная токовая защита. Она предназначена для защиты силового трансформатора от сверхтоков, которые могут проходить через него при повреждении, как самого трансформатора, так и других элементов электрически связанных с ним. Данные защиты действуют, как правило, с выдержкой времени.

Защита от перегрузки. Предназначена для оповещения дежурного персонала или действует на отключение на подстанциях без дежурного персонала[1].

Для защиты от многофазных коротких замыканий в обмотках и на выводах силового трансформатора подстанции «Шахтовая» устанавливается продольная дифференциальная защита. В качестве дополнительной защиты от протекания токов внешних коротких замыканий необходима к установке максимальная токовая защита. Также прием к установке газовую защиту с

действием на сигнал при низком газообразовании и снижении уровня масла, и на отключение при сильном газообразовании и дальнейшем снижении уровня масла.

## 5.2 Продольная дифференциальная токовая защита

Для защиты силового трансформаторов применяется блок микропроцессорной релейной защиты RET 521 производства фирмы Asea Brown Boveri. Данный Терминал RET 521 может применяться для защиты двухобмоточных и трёхобмоточных трансформаторов, а так же и шунтирующих реакторов.

Так как установка параметров терминала имеет ряд особенностей, расчет уставок продольной дифференциальной защиты выполняется по методике изготовителя.

Перед началом расчёта уставок определим номинальные токи обмоток защищаемого силового трансформатора:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{Т.НОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{СР.НОМ}}}, \quad (45)$$

где  $S_{\text{Т.НОМ}}$  – номинальная мощность силового трансформатора, кВА;

$U_{\text{СР.НОМ.ВН}}$  – номинальное напряжение среднего ряда, кВ.

$$I_{\text{НОМ.ВН}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 156,04 \text{ А};$$

$$I_{\text{НОМ.НН}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 549,86 \text{ А}.$$

По номинальным первичным токам трансформатора выбираем первичные токи ТТ из стандартного ряда, округляя до ближайшего большего. На подстанции установлены следующие трансформаторы тока: на стороне 35 кВ ТОЛ-СЭЩ-35-200/1, на стороне 6 кВ – ТОЛ-СЭЩ-10-1000/5

Коэффициенты трансформации трансформаторов тока определяются по следующему выражению:

$$K_{\text{ТТ}} = \frac{I_{\text{перв.об}}}{I_{\text{втор.об}}}, \quad (46)$$

где  $I_{\text{перв.об}}$  – ток первичной обмотки из стандартного ряда токов;

$I_{\text{втор.об}}$  – ток вторичной обмотки трансформатора тока

Определим коэффициенты трансформации ТТ:

$$K_{\text{ТТ.ВН}} = \frac{200}{1} = 200;$$

$$K_{\text{ТТ.ВН}} = \frac{1000}{5} = 200.$$

Номинальные вторичные токи определяются по следующей формуле:

$$I_{\text{втор}} = \frac{I_{\text{факт}}}{K_{\text{ТТ}}}, \quad (47)$$

где  $I_{\text{факт}}$  – номинальный ток обмоток силового трансформатора;

$K_{\text{ТТ}}$  – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Рассчитаем вторичные токи:

$$I_{\text{втор.ВН}} = \frac{141}{200} = 0.705 \text{ А};$$

$$I_{\text{втор.НН}} = \frac{820}{200} = 4,1.$$

Ток небаланса при внешних КЗ определяется по формуле:

$$I_{нб'} = K''_{пер} \cdot \varepsilon + \Delta U_{рег'} + \Delta f_{выр'} \quad (49)$$

где  $K''_{пер}$  – коэффициент, учитывающий переходный процесс,  $K'_{пер} = 1,5$ ,  
 $K''_{пер} = 2,5$ ;

$\varepsilon$  – полная относительная погрешность трансформатора тока,  $\varepsilon = 0,1$ ;

$\Delta U_{рег'}$  – относительная погрешность, вызванная регулированием напряжения трансформатора,  $\Delta U_{рег'} = 0,02$ ;

$\Delta f_{выр'}$  – относительная погрешность выравнивания токов плеч,  $\Delta f_{выр'} = 0,02$ .

$$I_{нб'} = 2,5 + 0,1 + 0,02 + 0,2 = 0,29 \text{ о.е.}$$

Минимальный ток срабатывания  $I_{d.min*}$  необходимо выбирать по условию отстройки от тока небаланса при токе торможения  $I_{торм*} = 1,25$ .

$$I_{d.min} \geq 1,25 \cdot K_{отс} \cdot (K'_{пер} \cdot \varepsilon + \Delta U_{рег'} + \Delta f_{выр'}), \quad (50)$$

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки от тока небаланса, равный 1,1.

$$I_{d.min} \geq 1,25 \cdot 1,1 \cdot (1,5 \cdot 0,1 + 0,02 + 0,02) = 0,261.$$

Произведём выбор тормозной характеристики из набора стандартных для данного терминала. Параметры тормозных характеристик представлены в таблице 35.

Таблица 35 – Тормозные характеристики

| № тормозной характеристики | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
|----------------------------|------|------|------|------|------|
| 1                          | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
| $K_{ТГ}$                   | 0,15 | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,49 |
| $I_{Т.расч'}$              | 3,9  | 3,25 | 2,58 | 2,25 | 2,05 |

Проверяем соответствие методом последовательных приближений. Сначала проверяем по третьей тормозной характеристике, то есть находим коэффициент торможения ( $K_{Т1}$ ) через  $I_{Т.расч}$  по формуле:

$$K_{Т1.3} = \frac{K_{отс} \cdot I_{нб}' \cdot I_{скв}'^{-0,7}}{I_{скв}'^{-0,7}}, \quad (51)$$

$$K_{Т1.3} = \frac{1,1 \cdot 0,29 \cdot 3^{-0,7}}{3^{-0,7}}$$

Сквозной ток для трансформаторов малой мощности принимается равным  $I_{скв}' = 3$ . Как видно по формуле (74) коэффициент торможения оказался больше заданного в таблице, следовательно, производим аналогичный расчёт по четвертой характеристике:

$$K_{Т1.4} = \frac{K_{отс} \cdot I_{нб}' \cdot I_{скв}'^{-0,7}}{I_{скв}' - I_{Т.расч}'}, \quad (52)$$

$$K_{Т1.4} = \frac{1,1 \cdot 0,29 \cdot 3^{-0,7}}{3 - 2,25} = 0,343 \leq 0,4.$$

Условие выполнено для четвертой тормозной характеристики.

### 5.3 Максимальная токовая защита

Максимальная токовая защита полностью защищает силовой трансформатор, а также является его защитой от сверхтоков внешних КЗ. На трансформаторах с односторонним питанием МТЗ всегда устанавливается со стороны источника мощности для того, чтобы обеспечивалось резервирование защиты при коротком замыкании в трансформаторе.

Ток срабатывания защиты, А:

$$I_{сз.мтз} = \frac{K_{над} \cdot K_{сам.з}}{K_B} \cdot I_{р.мах}, \quad (53)$$

где  $K_{\text{над}}$  – коэффициент надежности,  $K_{\text{над}} = 1,1$ ;  
 $K_B$  – коэффициент возврата,  $K_B = 0,8$ ;  
 $K_{\text{сам.з}}$  – коэффициент самозапуска,  $K_{\text{сам.з}} = 2$ ;  
 $I_{p.\text{max}}$  – максимальный рабочий ток трансформатора, А.

Максимальный рабочий ток силового трансформатора определяется по следующей формуле:

$$I_{p.\text{max.ВН}} = \frac{S_{\text{НОМ}} \cdot 0,7}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН.НОМ}}}; \quad (54)$$

$$I_{p.\text{max.ВН}} = \frac{10000 \cdot 0,7}{\sqrt{3} \cdot 35} = 164,96 \text{ А};$$

$$I_{\text{сз.МТЗ}} = \frac{1,1 \cdot 2}{0,8} \cdot 164,96 = 453,63 \text{ А}.$$

Чувствительность проверяется по минимальному току двухфазного КЗ за трансформатором, приведённому к соответствующей стороне. Ток двухфазного короткого замыкания для узла 19 равен 3,7 кА. Покажем пример для защиты, установленной на стороне ВН:

$$K_{\text{ч.МТЗ}} = \frac{I_{\text{кз.ВН}}^{(2)}}{I_{\text{сз.МТЗ.ВН}}}; \quad (55)$$

$$K_{\text{ч.МТЗ}} = \frac{3700}{453,63} = 8,156 \geq 1,5$$

Чувствительность соответствует необходимому значению.

Выдержку времени МТЗ необходимо отстроить от наибольшего времени срабатывания защиты отходящей линии (принимаем  $t_{\text{л.наиб}} = 1,5$  с):

$$t_{\text{сз.мтз}} = t_{\text{л.наиб}} + \Delta t, \quad (56)$$

$$t_{\text{сз.мтз}} = 1,5 + 0,5 = 2 \text{ с.}$$

Вторая ступень срабатывания защиты, отстраиваемая от токов обратной последовательности, определяется по формуле:

$$I_{\text{сз2}} = \frac{I_{\text{сз.мтз}} \cdot 100}{K_{\text{мм}} \cdot 5}, \quad (57)$$

$$I_{\text{сз2}} = \frac{453,63 \cdot 100}{200 \cdot 5} = 9,14 \text{ \%}.$$

#### 5.4 Защита от перегрузки

Защита от перегрузки действует аналогично МТЗ, но с действием на сигнал или отключение при длительном протекании чрезмерно больших токов через силовой трансформатор. Защиту от перегрузки устанавливается со стороны высокого напряжения. Защиту реализуем с помощью функциональных блоков максимальной токовой защиты с выдержкой времени ТОС, действие защиты в этом случае осуществляется при помощи ступени с низкой уставкой.

Ток срабатывания защиты от перегрузки (с действием на сигнал) определяется по выражению:

$$I_{\text{сз.пер}} = \frac{K_{\text{отс}}}{K_{\text{в}}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (58)$$

где  $K_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки,  $K_{\text{отс}} = 1,05$ .

$$I_{\text{сз.пер}} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 164,96 = 216,5 \text{ А.}$$

В терминале RET 521 так же присутствует тепловая защита, которая

срабатывает при повышении температуры обмоток или сердечника силового трансформатора. Повышение температуры может сигнализировать о наличии не выявленных газовой защитой межвитковых замыканий обмоток, или других неисправностей системы охлаждения, протекании сверхтоков, пожаре в стали и так далее.

### **5.5 Газовая защита**

Газовая защита основана на использовании явления газообразования в баке повреждённого трансформатора. Интенсивность газообразования зависит от характера и размеров повреждения в силовом трансформаторе. Это даёт возможность выполнить газовую защиту таким образом, чтобы она была способна различать степень серьёзности повреждения, и в зависимости от этого действовать на сигнал, либо же отключение [15].

Основным элементом газовой защиты является газовое реле, устанавливаемое в маслопроводе между баком и расширителем. Ранее выпускалось поплавковое газовое реле ПГ-22. В нашей стране широко используется газовое реле с двумя шарообразными пластмассовыми поплавками типа BF80/Q. Реле имеет некоторые конструктивные особенности. Однако принцип действия его такой же, как и других газовых реле.

Достоинства газовой защиты: высокая чувствительность и реагирование практически на все виды повреждения внутри бака; относительно небольшое время срабатывания; простота выполнения, а также способность защищать трансформатор при недопустимом понижении уровня масла по любым причинам. Наряду с этим защита имеет ряд существенных недостатков, основной из которых – не способность реагировать на повреждения расположенные вне бака в зоне расположенной между трансформатором и выключателями. Защита может подействовать ложно при попадании воздуха в бак трансформатора, что может произойти, например, при доливке масла, после монтажа системы охлаждения и т.п. Возможны также ложные срабатывания защиты на трансформаторах, установленных в районах повышенной

сейсмической активностью. В таких случаях осуществляется перевода действия данной защиты на сигнал, для предупреждения дежурного персонала. В связи с вышесказанным следует, что газовую защиту нельзя использовать в качестве единственной защиты силового трансформатора от внутренних повреждений.

Необходимо также отметить, что начальная стадия виткового замыкания может и не сопровождаться появлением дуги следовательно, и газообразованием. В таком случае газовая защита не сможет обнаружить витковые замыкания в трансформаторе, именно поэтому они могут долгое время оставаться незамеченными.

Газовая защита обязательна к установке для трансформаторов номинальной мощностью более 6300 кВА. Но также и допускается устанавливать газовую защиту на силовых трансформаторах меньшей мощности. Для внутрицеховых подстанций газовую защиту необходимо устанавливать на трансформаторах практически любой мощности допускающих это по параметрам конструкции, независимо от наличия другой быстродействующей защиты.

На защищаемых силовых трансформаторах подстанции «Шахтовая» примем к установке газовое реле типа BF80/Q. В данной работе проверка и отстройка данной защиты не имеет необходимости.

## 6 РАСЧЁТ МОЛНИЕЗАЩИТЫ И ЗАЗЕМЛЕНИЯ ПОДСТАНЦИИ «ШАХТОВАЯ»

### 6.1 Расчёт заземления подстанции «Шахтовая»

Все металлические части электроустановок, нормально не находящиеся под напряжением, но которые могут оказаться под напряжением из-за повреждения изоляции, должны надёжно соединяться с землёй, т.е. заземляться. Данным мероприятием называется защитное заземление электроустановки, и его целью является защита персонала от опасных напряжений прикосновения [15].

В электроустановках заземляются корпуса силовых трансформаторов, аппаратов, вторичные обмотки измерительных трансформаторов, приводы электрических аппаратов, каркасы распределительных щитов, пультов, шкафов, металлические конструкции кабельных муфт, металлические оболочки и броня кабелей, проводов, металлические конструкции зданий и сооружений.

Заземление, которое предназначено для создания нормальных условий работы оборудования или электроустановки, называется рабочим заземлением. К рабочему заземлению относится заземление нейтрали силовых трансформаторов и дугогасящих реакторов. Без рабочего заземления аппарат не сможет выполнить заданных ему функций, или же будет нарушен режим работы электроустановки [15].

Для защиты оборудования от повреждения ударом молнии применяется грозозащита с помощью искровых промежутков, разрядников, ограничителей перенапряжения, тросовых и стержневых молниеотводов, которые

присоединяются к заземлителям. Обычно для выполнения всех трёх типов заземления используют одно заземляющее устройство.

Для выполнения заземления возможно использование естественных и искусственных заземлителей. В качестве естественных заземлителей применяют металлические и железобетонные конструкции зданий, водопроводные трубы, имеющие электрическое соединение с землёй. Естественные заземлители должны быть связаны с магистралями заземлений не менее чем двумя проводниками в разных точках.

Требования, предъявляемые ПУЭ к заземлениям электроустановки – заземляющее устройство, которое выполняется с соблюдением требований к его сопротивлению, должно иметь в любое время года сопротивление не более 0,5 Ом, включая сопротивление естественных заземлителей.

Заземление выполняется в виде сетки с вертикальными и горизонтальными электродами. Расчёт заземления подстанции подразумевает расчёт стационарного и импульсного сопротивления заземлителя.

Расчёт контура сетки заземлителя, расположенного с выходом за границы оборудования на 1,5 м [6].

Площадь использования под заземлитель:

$$S = (A + 2 \cdot 1,5) \cdot (B + 1,5), \quad (59)$$

где  $A$  и  $B$  – ширина и длина территории, занимаемой заземлителем, м.

$$S = (24,1 + 2 \cdot 1,5) \cdot (30,5 + 1,5) = 908 \text{ м}^2.$$

Принимаем диаметр горизонтальных и вертикальных проводников в сетке, выполненных в виде прутков диаметром, равным  $d = 20$  мм.

Проверка сечения по условиям механической прочности:

$$F_{\text{м.п}} = \pi \cdot R^2, \quad (60)$$

где  $R$  – радиус горизонтальных и вертикальных проводников, мм.

$$F_{\text{м.п}} = 3,14 \cdot 10^2 = 314 \text{ мм}^2.$$

Проверка на термическую стойкость:

$$F_{\text{т.с}} = \sqrt{\frac{I_{\text{кз}}^2 \cdot T}{400 \cdot \beta}}, \quad (61)$$

где  $T = 0,3$  с – время срабатывания РЗ при его отключении;

$\beta = 21$  (для стали) – коэффициент термической стойкости.

$$F_{\text{т.с}} = \sqrt{\frac{7400^2 \cdot 0,3}{400 \cdot 21}} = 44,22 \text{ мм}^2.$$

Проверка сечения на коррозионную стойкость:

$$F_{\text{кор}} = \pi \cdot S_{\text{ср}} \cdot (d + S_{\text{ср}}); \quad (62)$$

$$S_{\text{ср}} = a_k \cdot \ln^3 T + b_k \cdot \ln^2 T + c_k \cdot \ln T + \alpha_k, \quad (63)$$

где  $a_k, b_k, c_k, \alpha_k$  – справочные коэффициенты, зависящие от состава грунта.

$T$  – время использования заземлителя. Примем равным 240 месяцам.

$$S_{\text{ср}} = 0,026 \cdot \ln^3(T) + 0,0092 \cdot \ln^2(T) + 0,0104 \cdot \ln(T) + 0,0224 = 0,784;$$

$$F_{\text{кор}} = 3,14 \cdot 0,784(20 + 0,784) = 51,175 \text{ мм}^2.$$

Сечение горизонтальных проводников должно удовлетворять условию:

$$F_{\text{м.п}} \geq F_{\text{min}} \geq F_{\text{кор}} + F_{\text{т.с}} ; \quad (64)$$

$$314 \geq F_{\text{min}} \geq 95,4 \text{ мм}^2.$$

Условие выполняется, следовательно, оставляем выбранный диаметр прутков.

Принимаем расстояние между полосами сетки:  $l_{n-n} = 6$  м.

Тогда общая длина полос в сетке:

$$L_{\Gamma} = \frac{2 \cdot S}{l_{n-n}}; \quad (65)$$

$$L_{\Gamma} = \frac{2 \cdot 908}{6} = 302,6 \text{ м.}$$

Уточняем длину горизонтальных полос при представлении площади подстанции квадратичной моделью со стороной  $\sqrt{S}$ .

В этом случае число ячеек:

$$m = \frac{L_{\Gamma}}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1; \quad (66)$$

$$m = \frac{302,6}{2 \cdot \sqrt{908}} - 1 = 4,022.$$

Принимаем:  $m = 4$ .

Длина стороны ячейки:

$$L_{\text{д}} = \frac{\sqrt{S}}{m}; \quad (67)$$

$$L_D = \frac{\sqrt{908}}{4} = 7,53.$$

Длина горизонтальных полос в расчётной модели:

$$L = 2 \cdot \sqrt{S} \cdot (m + 1); \quad (68)$$

$$L = 2 \cdot \sqrt{908} \cdot (4 + 1) = 301,3 \text{ м.}$$

Определяем количество вертикальных электродов:

$$n_B = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{\frac{a}{l_B} \cdot l_B}, \quad (69)$$

где  $l_g$  – длина вертикального электрода, равная 5 м;

$a$  – расстояние между вертикальными электродами, равное 12 м.

$$n_B = \frac{4 \cdot \sqrt{908}}{\frac{12}{5} \cdot 5} = 10,044.$$

Принимаем:  $n_g = 10$ .

Вычисляем стационарное сопротивление заземлителя:

$$R = \rho_{\text{ЭКВ}} \cdot \left( \frac{A}{\sqrt{S}} + \frac{1}{L + n_B \cdot l_B} \right), \quad (70)$$

где  $\rho_{\text{ЭКВ}}$  – эквивалентное удельное сопротивление грунта;

$A$  – параметр, зависящий от соотношения  $l_g / \sqrt{S_1}$ . В данном случае принимаем равным 0,365 [8].

$$\rho_{\text{ЭКВ}} = \frac{h_{1з}}{\frac{h_2}{\rho_2} + \frac{h_1}{\rho_1}}, \quad (71)$$

где  $h_3$  – глубина заложения заземлителя, м;

$\rho_1, \rho_2$  – удельное сопротивление верхнего (50 Ом·м) и нижнего (10 Ом·м) слоёв грунта соответственно;

$h_1, h_2$  – толщина верхнего и нижнего слоёв грунта соответственно, м.

$$h_{1э} = l_B + h_3; \quad (72)$$

$$h_{1э} = 5 + 1 = 6 \text{ м.}$$

Находим эквивалентное удельное сопротивление грунта:

$$\rho_{\text{ЭКВ}} = \frac{6}{\frac{9}{50} + \frac{8}{10}} = 6,122 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Тогда, стационарное сопротивление заземлителя:

$$R = 6,122 \cdot \left( \frac{0,365}{\sqrt{908}} + \frac{1}{301,3+10+5} \right) = 0,092 \text{ Ом.}$$

Импульсный коэффициент:

$$\alpha_{\text{И}} = \sqrt{\frac{1500 \cdot \sqrt{S}}{(\rho_{\text{ЭКВ}} + 320) \cdot (I_{\text{М}} + 45)}}, \quad (73)$$

где  $I_{\text{М}}$  – ток молнии, кА. Принимаем равным 40 кА.

$$\alpha_{\text{И}} = \sqrt{\frac{1500 \cdot \sqrt{908}}{(6,122 + 320) \cdot (40 + 45)}} = 1,277;$$

Определяем импульсное сопротивление грунтов при условии:

$$R_u = R \cdot \alpha_u \leq 0,5 \text{ Ом}; \quad (74)$$

$$R_u = 0,092 \cdot 1,277 = 0,117 \leq 0,5 \text{ Ом.}$$

Полученное значение не превышает допустимого значения, следовательно требования, предъявляемые ПУЭ, выполнены в полном объёме.

## **6.2 Расчёт молниезащиты подстанции «Шахтовая»**

Здания и сооружения в зависимости от их назначения, интенсивности грозовой деятельности в районе местонахождения объектов, ожидаемого количества поражений молний в год должны защищаться в соответствии с категориями устройства молниезащиты и типом зоны защиты. Защита от прямых ударов молнии осуществляется с помощью молниеотводов различных типов: стержневых, тросовых, комбинированных, сетчатых. В данной работе будет рассматриваться установка стержневых молниеотводов.

Защитное действие молниеотвода основано на следующем свойстве молнии: это поражение наиболее высоких и хорошо заземлённых сооружений, которые проводят электрический ток. Благодаря этому, защищаемое сооружение, имеющее более низкую высоту по сравнению с молниеотводом, не будет поражаться молнией с высокой долей вероятности, если зона защиты молниеотвода будет полностью охватывать защищаемое оборудование. Зоной защиты молниеотвода считается пространство вокруг молниеотвода, которое обеспечивает защиту зданий и сооружений от прямых ударов молнии с определённой степенью надёжности. Наименьшей и постоянной по величине степенью надёжности обладает поверхность зоны защиты, по мере продвижения внутрь зоны надёжность защиты увеличивается. Зона защиты типа А обладает степенью надёжности 99,5 % и выше, а типа Б – 95 % и выше.

Расчёт молниезащиты объектов сводится к определению границ зоны защиты молниеотводов. Зона рассматриваемого нами одиночного стержневого молниеотвода высотой менее 150 метров представляет собой конус.

Нормируется два вида зон:

1. Зона А – с надёжностью не менее 0,995;
2. Зона Б – с надёжностью не менее 0,95.

Возможное количество поражений молнией в год незащищённого объекта производится по формуле:

$$N = ((S + 6h) \cdot (L + 6h) - 7,7h^2)n \cdot 10^{-6}, \quad (75)$$

где  $S$ ,  $L$  – соответственно, ширина и длина здания или сооружения, м;

$h$  – наибольшая высота здания или сооружения, м;

$n$  – среднегодовое число ударов молнии в  $1 \text{ км}^2$  земной поверхности.

Средняя годовая продолжительность гроз в часах для данной местности: от 10 до 20 ч, следовательно,  $n = 2$ .

$$N = ((24,1 + 6 \cdot 6,5) \cdot (30,5 + 6 \cdot 6,5) - 7,7 \cdot 6,5^2) \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0,004.$$

Так как  $N < 1$ , то принимаем зону защиты типа Б.

Выполним расчёт зоны защиты типа Б с надёжностью не менее 0,95.

Принимаем высоту молниеотвода равной 20 метрам

Тогда высота зоны защиты определяется по формуле:

$$h_{\text{эф}} = 0,92h ; \quad (76)$$

$$h_{\text{эф}} = 0,92 \cdot 20 = 18,4 \text{ м.}$$

Радиус круга зоны защиты на уровне земли:

$$r_0 = 1,5h ; \quad (77)$$

$$r_0 = 1,5 \cdot 20 = 30 \text{ м.}$$

Защищаемым объектом является приёмный блок линии и силовой трансформатор. Рассчитаем зоны защиты для приёмного блока, в данном случае высота защищаемого объекта равна 6,5 метрам.

Рассчитаем зоны защиты между молниеотводами 1 и 2. Расстояние между ними составляет 24,1 м.

Половина ширины внутренней зоны на уровне земли при  $h \leq L \leq 6h$ :

$$r_{c0} = r_0 = 30 \text{ м.} \quad (78)$$

Минимальная высота зоны защиты:

$$h_{cx} = h_{эф} - 0,14(L - h); \quad (79)$$

$$h_{cx} = 18,4 - 0,14 \cdot (24,1 - 6,5) = 15,94 \text{ м.}$$

Радиус защиты защищаемого объекта определяется по следующей формуле:

$$r_{cx} = r_0 \cdot (h_{cx} - h_x) / h_{cx}; \quad (80)$$

$$r_{cx} = 30 \cdot \frac{(15,94 - 6,5)}{15,94} = 17,76 \text{ м.}$$

Аналогичным образом рассчитаем зону защиты между молниеотводами 2-4. Подробный расчёт представлен в приложении Ж данной выпускной квалификационной работы.

Отметим зоны защиты молниеотводов на графическом листе 8 данной работы. Зоны защиты на уровне приёмного блока ВЛ-35 кВ так же охватывают силовые трансформаторы, установленные на данной подстанции. Следовательно, данные объекты входят в зону защиты на своём уровне и

производить отдельный расчёт зон защиты на данном уровне не имеет необходимости.

## 7 ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

### **7.1 Оценка надёжности электроснабжения потребителей ПС «Шахтовая»**

Проблема оценки и выбора рациональной степени надёжности электроэнергетических систем является одной из наиболее важных проблем на современном уровне развития электроэнергетики. Этим и определяется повышенный интерес к проблеме надёжности в последние годы в России, а так же и за рубежом.

Под надёжностью следует понимать свойство электрооборудования, или какой-либо системы выполнять заданные ему функции, сохраняя при этом свои эксплуатационные показатели в пределах, оговорённых в нормативных документах. Следовательно, надёжность электроэнергетической системы – есть свойство обеспечивать потребителей электроэнергией при отклонениях частоты и напряжения в пределах, обусловленных ПУЭ [18].

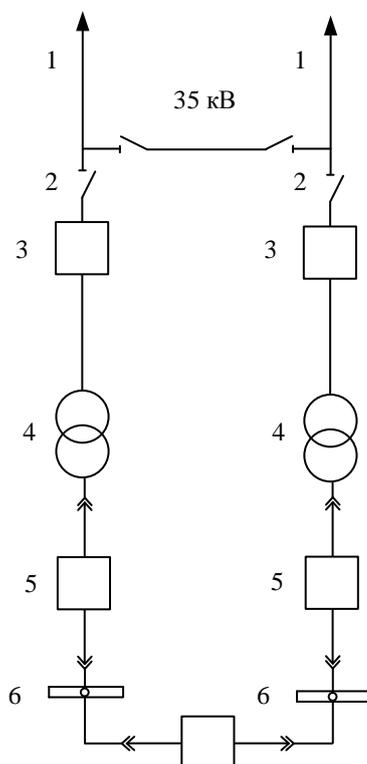
Надёжность электроэнергетических систем определяется надёжностью её составных частей, схемы, а так же режима. Немаловажным фактором является живучестью системы, т.е. способность выдерживать системные аварии цепочного характера без перерыва электроснабжения потребителей.

В теории надёжности различают понятия отказа и безотказности работы системы. Под отказом понимают событие, которое заключается в нарушении работоспособности объекта, т.е. переход его с одного уровня работоспособности на более низкий или же, полностью в неработоспособное

состояние. А безотказность – это свойство данного объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течении определённого времени или некоторой наработки.

Надёжность оценивается при помощи показателей надёжности составных элементов энергосистем. Показатели надёжности данных элементов предназначены для сравнительных расчётов и оценок надёжности энергосистем в целом, систем электроснабжения потребителей и узлов нагрузки, сравнительной оценки уровня надёжности электроустановок и линий электропередачи в различных схемах и условиях эксплуатации, определения целесообразности и эффективности мероприятий и средств повышения надёжности и совершенствования системы планово-предупредительных ремонтов, нормирования резервов оборудования, материалов, запасных частей.

Проведём оценку надёжности подстанции «Шахтовая». Все элементы данной подстанции, которые оказывают непосредственное влияние на надёжность распределительного устройства подстанции показаны на электрической схеме (рисунок 8) и пронумерованы порядковыми номерами.



## Рисунок 8 – Схема подстанции «Шахтовая»

В качестве показателей надёжности приняты следующие величины [9]:

- средний параметр потока отказов  $\omega$ , 1/год;
- среднее время восстановления оборудования  $T_B$ , ч;
- продолжительность ремонтов  $T_P$ , ч;
- частота ремонтов  $\mu$ , 1/год.

Для элемента ЛЭП используются следующие показатели надёжности:

- среднее число преднамеренных отключений  $\mu$ , 1/год;
- среднее время простоя при преднамеренных отключениях  $T_P$ , ч.

Для выключателей:

$a_{оп}$ ,  $a_{кз}$  – относительная частота отказов выключателя при оперативных переключениях и КЗ соответственно.

### 7.2 Алгоритм расчёта надёжности схемы подстанции «Шахтовая»

Произведём расчёт при помощи программно-вычислительного комплекса Mathcad Prime 3.1. Подробный расчёт данного пункта приведён в в приложении 3.

Исходные данные, которые необходимы для оценки показателей надёжности элементов схемы, представлены в таблице 36.

Таблица 36 – Исходные данные

| Элемент                        | $\omega$ , 1/год | $t_b$ , ч | $T_P$ , ч | $\mu$ , 1/год | $a_{оп}$ | $a_{кз}$ | $T_B$ , ч |
|--------------------------------|------------------|-----------|-----------|---------------|----------|----------|-----------|
| 1                              | 2                | 3         | 4         | 5             | 6        | 7        | 8         |
| Выключатель на стороне 35 кВ   | 0,02             | 40        | 29        | 0,2           | 0,013    | 0,012    | 8760      |
| Выключатель на стороне 6 кВ    | 0,009            | 20        | 8         | 0,14          | 0,0027   | 0,0022   | 8760      |
| Трансформатор $S_{ном}=10$ МВА | 0,012            | 70        | 26        | 0,75          | -        | -        | 8760      |
| ВЛ 35 кВ                       | 0,65             | 9         | 16        | 2,1           | -        | -        | 8760      |
| Разъединитель на стороне 35 кВ | 0,01             | 6         | 5,5       | 0,166         | -        | -        | 8760      |
| Разъединитель на стороне 6 кВ  | 0,01             | 7         | 3,7       | 0,166         | -        | -        | 8760      |
| Шина 6 кВ                      | 0,03             | 5         | 5         | 0,166         | -        | -        | 8760      |

Вероятность состояния отказов простых элементов определяется по формуле:

$$q = \frac{\omega \cdot t_B}{T_{\Gamma}}, \quad (81)$$

где  $\omega$  – средний параметр потока отказа элемента, 1/год;

$t_B$  - среднее время восстановления элемента, ч;

$T_{\Gamma}$  - время года, ч.

Результаты расчёта вероятности состояния отказов приведены в таблице 37.

Таблица 37 – Показатели вероятности состояния отказов простых элементов

| Элемент             | q, 1/год              |
|---------------------|-----------------------|
| 1                   | 2                     |
| Выключатель 35 кВ   | $9,132 \cdot 10^{-5}$ |
| Выключатель 6 кВ    | $2,055 \cdot 10^{-5}$ |
| Трансформатор       | $9,589 \cdot 10^{-5}$ |
| ВЛ 35 кВ            | $6,678 \cdot 10^{-4}$ |
| Разъединитель 35 кВ | $6,849 \cdot 10^{-6}$ |
| Разъединитель 6 кВ  | $7,991 \cdot 10^{-6}$ |
| Шина 6 кВ           | $1,712 \cdot 10^{-5}$ |

Составление схем замещения.

Каждый элемент однолинейной электрической схемы вводится своим элементом показателя вероятности отказа элемента. Вероятность отказа выключателей вводится моделью выключателя, где учитывается смежные элементы, а также оперативные переключения выключателем [12].

Вероятность отказа выключателя определяется по математической модели вероятности отказа с учётом смежных элементов по формуле:

$$q_Q = q_{CT} + a_{K3} \cdot (1 + a \cdot K_{АПВ}) \cdot (1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_{CM})) + (a_{OP} \cdot N_{OP}), \quad (82)$$

где  $a_{\text{оп}}$  - относительная частота отказов;

$a_{\text{кз}}$  - параметр отказа выключателей при отключении КЗ.

$N_{\text{оп}}$  - количество оперативных переключений за год, определяется по формуле:

$$N_{\text{оп}} = \sum \mu_p, \quad (83)$$

где  $\mu_p$  - частота капитальных ремонтов.

Результаты сводим в таблицу 38.

Таблица 38 – Результаты расчёта моделей выключателя.

| Выключатель | Результат расчёта |
|-------------|-------------------|
| 1           | 2                 |
| $q_{Q1}$    | 0,052             |
| $q_{Q2}$    | 0,052             |

Вероятность отказа электроэнергетической системы определяется путём эквивалентирования вероятностей отказа схемы замещения по формулам сложения при последовательном и параллельном соединении элементов схемы замещения [15].

Следовательно, эквивалентная вероятность при последовательном соединении определяется как сумма вероятностей элементов системы:

$$q_I = \sum q_i. \quad (84)$$

Средняя вероятность состояния отказа системы, состоящей из двух параллельно соединённых элементов:

$$q_C = q_I \cdot q_{II} + k_{\text{прI}} \cdot q_{\text{прI}} \cdot q_{II} + k_{\text{прII}} \cdot q_{\text{прII}} \cdot q_I, \quad (85)$$

где  $k_{\text{пр}}$  – коэффициент, учитывающий уменьшение вероятности

преднамеренного отключения одного элемента и аварийного отключения другого, из-за запрета наложения ремонта на аварию.

$$k_{\text{ПР I}} = 1 - e^{-t_{\text{ПР I}}/t_{\text{В I}}} , \quad (86)$$

$$k_{\text{ПР II}} = 1 - e^{-t_{\text{ПР II}}/t_{\text{В I}}} . \quad (87)$$

Параметр потока отказа для последовательно соединённых элементов с учётом преднамеренного отключения:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i + \lambda_{\text{ПР.НБ}} , \quad (88)$$

где  $\lambda_{\text{ПР.НБ}}$  – наибольшая интенсивность преднамеренного отключения единичного элемента:

$$\lambda^* = \lambda - \lambda_{\text{ПР}} \quad (89)$$

Параметр потока отказа системы, состоящей из двух параллельно соединённых элементов:

$$\lambda_C = \lambda_I \cdot q_{II} + \lambda_{II} \cdot q_I + \lambda_I^* \cdot q_{\text{ПР II}} + \lambda_{II}^* \cdot q_{\text{ПР I}} . \quad (90)$$

В результате расчётов получаем, что вероятность отказа системы равна  $q_{c\Sigma} = 0,048$ .

Средний параметр потока отказа модели выключателя определяется по формуле:

$$W_Q = W_{\text{СТ}} + a_{\text{КЗ}} \cdot (1 + K_{\text{АПВ}}) \cdot (\sum W_{\text{СМ}}) + a_{\text{ОП}} \cdot N_{\text{ОП}} , \quad (91)$$

где  $w_{CT}$  – параметр потока отказа выключателя в статическом режиме, который находится по формуле:

$$W_{CT} = W_B + n \cdot W_p, \quad (92)$$

где  $W_p$  – параметр потока отказа разъединителя  
 $n$  – количество учётных разъединителей в выключателе.  
 Результаты сводим в таблицу 39.

Таблица 39 – Результаты расчёта моделей выключателя

| Выключатель | Результат расчета |
|-------------|-------------------|
| 1           | 2                 |
| $W_{Q1}$    | 0,201             |
| $w_{Q2}$    | 0,201             |

Эквивалентный параметр потока отказа при последовательном соединении определяется по формуле:

$$W_I = \sum_{i=1}^n W_i + W_{\text{прнб}}, \quad (89)$$

где  $w_{\text{прнб}}$  – преднамеренный параметр потока отказа, принятый наибольший из элементов сложения.

Эквивалентный параметр потока отказа системы при параллельном соединении определяется по формуле:

$$w_C = w_I \cdot q_{II} + w_{II} \cdot w_I + w_I^* \cdot q_{\text{ПРИ}} + w_{II}^* \cdot q_{\text{ПРИ}} \quad (90)$$

Расчёт вероятности отказа системы с учётом средств автоматики (АРВ и УРОВ) по полной модели отказа выключателя.

Условная вероятность отказа системы с учётом АВР определяется по формуле полной вероятности:

$$q_{ABP} = q_{c\Sigma} \cdot P(A_1) \cdot P(A_2) + 0,5 \cdot P(A_1) \cdot q(A_2) + 0,5 \cdot q(A_1) \cdot P(A_2) + 0,5 \cdot P(A_1) \cdot q(A_2) + 0,5 \cdot q(A_1) \cdot q(A_2) \quad (91)$$

где  $q_{c\Sigma}$  - вероятность отказа системы без АВР;

$P(A_1), P(A_2)$  – вероятность успешного отключения повреждённого элемента и вероятность успешного включения резервного элемента;

$q(A_1), q(A_2)$  – вероятность отказа в отключении повреждённого элемента и во включении резервного элемента.

Вероятность отказа выключателей определяется математической моделью отказа с учётом смежных элементов и их РЗ и А по следующим выражениям: Для выключателей вероятность отказа определяем как:

$$q_B = q_{CT} + q_{OP} + q_{ABT} + 2q_P, \quad (92)$$

где  $q_{cm}$  – вероятность отказа выключателя в статическом состоянии;

$q_{OP}$  – вероятность отказа выключателя при оперативных переключениях;

$q_{ABT}$  – вероятность отказа выключателя при КЗ;

$q_P$  – вероятность отказа разъединителей.

$$Q_{ABT} = a_K(q_{ДФЗ} + q_G) \cdot q_T, \quad (93)$$

где  $q_{ДФЗ}$  – вероятность отказа дифзащиты трансформатора, равная 0,22;

$q_G$  – вероятность отказа газовой защиты трансформатора, равная 0,03.

Вероятность отказа выключателей может быть записана:

$$q_B = q_{в.ст} + 2q_{р.ст} + a_{АВТ}(1 + a \cdot k_{АПВ}) \cdot \sum q_{защит} \cdot \sum q_{сш} + a_{оп} \cdot N_{оп}, \quad (94)$$

где  $a_{АВТ}$  – параметр потока отказов выключателя при отключении КЗ, определяется, с учётом установленных на них защит РЗ:

$a_{оп}$  – относительная частота отказов при оперативных переключениях;

$a$ ,  $k_{АПВ}$  – коэффициенты, учитывающие отсутствие или наличие АПВ на линии.

Таблица 40 – Показатели надёжности РЗ и А

| Тип защиты | $q, 1/\text{год}$ |
|------------|-------------------|
| 1          | 2                 |
| ДЗШ        | 0,0096            |
| ДЗТ        | 0,0044            |
| АВР        | 0,001             |
| УРОВ       | 0,00078           |

### 7.3 Расчёт времени работы системы подстанции

Среднее время восстановления системы определяется по формуле:

$$t_{вс} = \frac{q_c \cdot 8760}{\lambda_{\Sigma}}; \quad (95)$$

Время восстановления системы равно 25 часам. При этом среднее время безотказной работы системы:

$$T_c = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}}; \quad (96)$$

Среднее время безотказной работы составляет приблизительно 238 лет, определим расчётное время безотказной работы, которое определяется по формуле:

$$T_p = T_c \cdot 0,105; \quad (97)$$

Расчётное время безотказной работы составляет 25 лет.

## 8 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

### **8.1 Техника безопасности при производстве работ в устройствах релейной защиты, автоматики и телемеханики**

#### 8.1.1 Требования к персоналу, выполняющему электромонтажные и наладочные работы

Пусконаладочные работы в электроустановках должен производить подготовленный электротехнический персонал, не моложе 18 лет, который прошел [2]:

- соответствующее медицинское освидетельствование;
- вводный инструктаж;
- обучение безопасным методам труда;
- проверку знаний с получением соответствующей группы по электробезопасности;
- первичный инструктаж;
- стажировку в течение трёх-десяти смен под наблюдением опытного специалиста. Данные лица должны получить допуск к самостоятельной работе с оборудованием.

Перед допуском ко всем работам на действующей электроустановке персонал должен пройти инструктаж по технике безопасности и схемам присоединений электроустановки. Электромонтажному и наладочному персоналу строго запрещается проводить работы, которые относятся к эксплуатации электроустановок.

Административно-технический персонал, бригадиры и члены бригады должны выполнять трудовую дисциплину в бригаде и соблюдать требования правил внутреннего распорядка, правил техники безопасности и выполнять указания, полученные на инструктажах.

8.1.2 Техника безопасности и противопожарная техника при монтаже и наладке устройств релейной защиты, автоматики и телемеханики

Работы в устройствах релейной защиты и автоматики должен выполнять персонал, обученный и допущенный к самостоятельной проверке соответствующих устройств.

При работе на панелях и в цепях управления релейной защиты и электроавтоматики должны быть приняты меры против ошибочного отключения оборудования; работы должны выполняться только изолированным инструментом.

Выполнение таких работ без исполнительных схем, нарядов-допусков с заданными объёмами и последовательностью работ запрещается.

Для обеспечения безопасности работ, проводимых в цепях измерительных приборов, устройствах РЗ и А, телемеханики, все вторичные обмотки измерительных трансформаторов тока и напряжения, фильтров присоединения ВЧ-каналов должны иметь постоянное заземление.

При необходимости разрыва токовой цепи измерительных приборов и реле цепь вторичной обмотки трансформатора тока должна быть предварительно закорочена на специально предназначенных для этого зажимах. Замыкание следует проводить посредством перемычки, установку и закрепление которой выполняют инструментом (отвёрткой, плоскогубцам) с изолированными рукоятками; в цепях, в которых специальные зажимы для

закорачивания отсутствуют, размыкать вторичную цепь трансформатора тока запрещается.

При производстве работы на многоамперных (свыше 6000/5 А) трансформаторах тока или в их вторичных цепях должны соблюдаться следующие меры безопасности [2]:

- шины первичных цепей не должны использоваться в качестве вспомогательных токопроводов при монтаже токоведущих цепей или выполнении сварочных работ;

- присоединение к зажимам указанных трансформаторов тока цепей измерения и защиты должно производиться после полного окончания монтажа вторичных схем;

- при проверке полярности приборы, которыми она производится, должны быть до подачи импульса тока в первичную обмотку надёжно присоединены к зажимам вторичной обмотки.

Электропаяльник должен находиться на металлической подставке с лотком, при этом флюс и нагар стряхивается в лоток. По окончании работы электропаяльник следует отключить от сети и убрать в металлический ящик с соблюдением противопожарных мероприятий.

Пайка мелких деталей и концов проводов проводится с удержанием их пинцетом или плоскогубцами. Запрещается промывать места пайки бензином и другими легко воспламеняющимися растворителями.

Растворители хранят в плотно закрытых небьющихся ёмкостях, открываемых только в момент пользования жидкостью.

По окончании работ отключают все приборы от источника электропитания.

Для прозвонки проводов и жил контрольных кабелей следует пользоваться специальными приборами напряжением не более 12 В. Использование приборов напряжением свыше 12 В запрещается.

Замерять сопротивление изоляции должны не менее чем два лица. Руководитель работ должен иметь группу по технике безопасности не ниже IV, а остальные члены бригады – не ниже III.

Переносные светильники, применяемые для освещения рабочих мест, должны иметь напряжение не выше 36 В, а в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных – не выше 12 В.

Помещение, в котором проводятся работы с содержащими дихлорэтан веществами, должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией. Содержание паров дихлорэтана в рабочих помещениях не должно превышать 0,05 мг/л.

При работе с веществами, содержащими дихлорэтан, необходимо:

- соблюдать противопожарные меры;
- использовать тару с плотно закрытыми крышками и пробками;
- хранить грязный обтирочный материал в металлических ёмкостях;
- выполнять работы в медицинских перчатках.

Рабочее место электромонтажных (наладочных) работ должно быть оснащено противопожарными средствами, а рабочие должны быть обучены правилами пользования ими.

На месте производства электромонтажных (наладочных) работ бригада должна иметь аптечку с набором медикаментов, необходимых для оказания первой помощи.

По окончании работ необходимо [2]:

- привести в порядок рабочее место, удалить остатки материалов, посторонние предметы, обрезки проводов и изоляции;
- убрать инструмент и защитные средства на место их хранения, предварительно осмотрев и зачистив от загрязнений;
- вынести использованный обтирочный материал из помещения, где производились работы, в специально отведённое место.

### 8.1.3 Пусконаладочные работы

В соответствии с «Типовой инструкцией по организации и производству работ в устройствах релейной защиты и электроавтоматики электрических станций и подстанций» при новом включении наладочные работы рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1. Подготовительные работы: оформляется допуск к работе; подбирается полный комплект проектной и заводской документации; необходимые инструкции и программы испытаний; утверждённые установки для настройки устройств защиты и электроавтоматики. На данном этапе производится анализ работы и выверка принципиальных схем.

2. Организация рабочего места: подготовка необходимых испытательных устройств (отсоединение всех кабелей, подключённых к рядам зажимов проверяемой панели); подготовка измерительных приборов, инструментов и приспособлений, паспортов-протоколов на все устройства настраиваемого присоединения.

3. Визуальный внешний осмотр: проверяется соответствие установленной аппаратуры проекту и заданным уставкам; правильность выполнения маркировки кабелей, жил кабелей, проводов.

4. Внутренний осмотр: прозвонкой цепи проверяется место установки и выполнения заземления вторичных цепей; наличие необходимых надписей на панелях и аппаратуре; в механической части аппаратуры проверяют отсутствие видимых повреждений, надёжность болтовых соединений и паек, состояние контактных поверхностей. Тактильно на реле, проводится проверка хода, перемещения и отсутствия износа подвижных частей, наличия допустимых люфтов, зазоров, прогибов, провалов и т.д.

5. Предварительная проверка сопротивления изоляции: проводится для контроля сопротивления изоляции отдельных узлов настраиваемого присоединения перед подачей на них испытательного напряжения от проверочных устройств мегаомметром на 1000-2500 В между отдельными группами электрически не связанных цепей относительно земли и между собой.

Аппаратура, не рассчитанная на напряжение 1000 В исключается при проверках из схемы и испытывается в соответствии с заводскими нормами.

Сопротивление изоляции электрически связанных вторичных цепей относительно земли, а также между цепями различного назначения электрически не связанных соответствует не менее 1 МОм.

Испытание сопротивления изоляции производится в течении 1 мин.

6. Проверка электрических характеристик и настройка заданных рабочих установок: постоянный оперативный ток испытательной аппаратуры и источников её питания, подаётся со строгим соблюдением полярности. Проверка электрических характеристик завершается настройкой заданных уставок, после чего производится сборка всех вторичных цепей данного присоединения подключением жил кабеля на рядах зажимов, за исключением цепей связи с рабочими устройствами.

7. Измерение и испытание изоляции: проверка каждой группы электрически не связанных вторичных цепей с полностью собранной схемой и установленных и закрытых кожухах, крышках реле и т.п..

Проверка взаимодействия элементов устройства: проверяется правильность связи реле защиты, электроавтоматики, управления и сигнализации в соответствии с принципиальной схемой путем замыкания и размыкания вручную цепей контактов реле различными сочетаниями токов и напряжений, которые соответствуют параметрам аварийных режимов.

После проверок в различных режимах возобновляются все связи с другими аппаратами и устройствами, находящимися в работе, и проводится проверка действия на коммутационную аппаратуру и контроль взаимодействия с устройствами других присоединений.

Результаты испытаний оформляются записью в журнале релейной защиты, после чего исключаются работы в оперативных цепях данного присоединения без специального допуска.

8. Подготовка устройства к включению в работу: производится повторный осмотр панелей рядов зажимов, контролируется положение

соединительных мостиков и перемычек, положение накладок в цепях отключения, отсутствие отсоединённых и неизолированных проводов и жил кабелей, наличие заземления в соответствующих цепях.

При новом включении оборудования все защиты вводятся в работу с действием на отключение. После включения производится дополнительная проверка наладочным персоналом и оперативным персоналом устройств под нагрузкой. Данная проверка является окончательной и подтверждает правильность включения и поведения отдельных реле и устройства в целом.

После завершения проверки под нагрузкой производится осмотр и восстановление перемычек на всех реле, режим которых изменился при проверке их рабочим током. В журнале релейной защиты отмечается состояние проверенных устройств и возможность включения их в работу.

8.1.4 Требования к качеству работ, сдаче и приёмке вторичных устройств в эксплуатацию

Проверку правильности монтажа вторичных цепей выполняют инженерно-технические работники монтажной организации, а проверку при пусконаладочных работах – персонал пусконаладочной организации.

В процессе работы технический монтажный персонал в соответствии с указаниями проекта и заводских инструкций проводит контроль правильности установки и монтажа аппаратуры, приборов, наборных зажимов и проводок.

По окончании электромонтажных работ технический персонал должен проверить [2]:

- правильность и надёжность крепления аппаратов, приборов, наборных зажимов и проводок;
- надёжность пайки или опрессовки наконечников с образованием колец и штифтов на концах проводников;
- надёжность подключения проводников к наборным зажимам и выводам на чистоту и выбор контактных винтов, гаек, шайб, наличия антикоррозионных покрытий;
- правильность маркировки на окольцевателях;

- качество и чёткость и долговечность маркировочных надписей;
- качество окраски металлоконструкций, шинок;
- соответствие расцветки проводов надписям на панелях;
- присутствие на реле и приборах пломб и уплотнений.

Правильность монтажа вторичных цепей в пределах одного участка определяют пробником по уточнённым схемам.

Путём внешнего осмотра проложенных по панелям проводов с последующей прозвонкой их проверяют внутренние соединения щитов управления.

Контактные соединения проводов и жил контрольных кабелей со сборками наборных зажимов, приборами и другими аппаратами вторичных цепей исследуют контрольной затяжкой винтов и гаек.

Испытания изоляции всех элементов вторичного устройства проводят во всех фиксированных и не фиксированных рабочих положениях ключей управления и переключателей.

Электрические испытания вторичных цепей проводят в соответствии с объёмами и нормами, приведёнными в Правилах устройства электроустановок.

Для эксплуатации вторичных устройств обслуживающему персоналу передаётся следующая техническая документация [2]:

- исполнительные принципиальные схемы;
- исполнительные схемы соединений и подключений;
- протоколы испытаний сопротивления изоляции и качества контактных соединений;
- инструкции заводов-изготовителей по монтажу и обслуживанию приборов и аппаратов.

## **8.2 Экологичность проекта**

В соответствии «Нормами технологического проектирования подстанций с высшим напряжением 35-750 кВ» предусматривается сооружение под трансформаторами маслосборных ям (маслоприемников) с удалением масла и замасленных вод из них системой закрытых маслоотводов в маслосборник.

Данная мера позволит предотвратить растекание масла и распространение пожара, а также предохранит почвы от загрязнения маслом при аварии.

Размер диаметра маслоотводов подбирается согласно расчёта отвода 50 % масла и полного количества воды от пожаротушения гидрантами за 15 минут.

Сеть маслоотводов от трансформаторов (автотрансформаторов) выполняется из асбоцементных труб диаметром 300 мм. При пересечении с автодорогой участки сети проектируются из чугунных труб того же диаметра.

Ёмкость прямоугольного маслосборника рассчитывается на приём полного объёма масла автотрансформатора, содержащего наибольшее количество масла, а также расхода воды от гидрантов.

Факторы влияния открытого распределительного устройства и линий электропередачи на окружающую среду многофакторны, и заключаются в воздействии электромагнитного поля на живые организмы и человека. Данное воздействие оказывает влияние на сердечно-сосудистую, центральную и периферийную нервные системы, мышечную ткань и другие органы.

Воздействия различают:

– непосредственное (биологическое): проявляется при пребывании человека в электрическом поле. При этом изменяется давление и пульс, сердцебиение, аритмия, повышенная нервная возбудимость и утомляемость. Эффект этого воздействия усиливается с увеличением напряжённости поля и времени пребывания в нем.

– косвенное: проявляется воздействием электрических разрядов, возникающих при прикосновении человека, к изолированным от земли конструкциям, корпусам машин и механизмов, протяжённым проводникам или при прикосновении человека, изолированного от земли, к растениям, заземлённым объектам.

– акустический шум и радиопомехи: возникают при короне на проводах, частичных разрядах и короне на изоляторах и деталях арматуры. На уровень радиопомех оказывают влияние радиус проводов, условия погоды, состояние

поверхности провода (загрязнения, осадки). Для устранения радиопомех в охранной зоне снижается допустимая напряжённость на поверхности провода.

Воздействия электромагнитного поля предусматривают определённые условия труда и возможности пребывания населения в охранной зоне ВЛ, имеющей границы в виде параллельных линий.

Для эксплуатационного персонала установлена допустимая продолжительность периодического и длительного пребывания в электрическом поле на уровне головы человека (1,8 м над уровнем земли). При невозможности ограничения времени пребывания персонала под воздействием электрического поля применяется экранирование рабочих мест путём установки тросовых экранов над дорогами, экранирующих козырьков и навесов над шкафами управления.

### **8.3 Чрезвычайные ситуации**

Наиболее часто чрезвычайная ситуация наступает во время пожара на подстанции. Пожарная опасность электроустановок сопряжена с использованием горючих изоляционных материалов: резины, лаков, масел и т.п. Причиной возникновения возгорания могут быть электрические искры, дуги, короткие замыкания и перегрузка проводов, неисправности электрических машин и аппаратов.

При тушении пожаров в электроустановках, находящихся под напряжением, руководствуются «Инструкцией по тушению пожаров в электроустановках электростанций и подстанций».

Порядок действий во время пожара на энергообъекте:

1. Персонал, заметивший возгорание обязан немедленно сообщить об этом в пожарную охрану и старшему по смене энергообъекта, после чего он должен приступить к тушению пожара имеющимися средствами.

2. Старший по смене лично или с помощью дежурного персонала обязан определить место пожара, возможные пути его распространения, угрозу

действующему электрооборудованию и участки электрической схемы, оказавшиеся в зоне пожара.

3. После определения очага пожара старший по смене лично или с помощью дежурного персонала обязан проверить включение автоматической (стационарной) системы пожаротушения, создать безопасные условия персоналу и пожарным подразделениям для ликвидации пожара (отключить оборудование, снять напряжение, слить масло). Далее необходимо приступить к тушению пожара силами и средствами подстанции и выделить для встречи пожарных подразделений лицо, которое хорошо осведомлено о расположении подъездных путей и водоисточников.

4. До прибытия первого пожарного подразделения руководителем тушения пожара является старший по смене энергопредприятия, руководитель объекта.

Старший командир пожарного подразделения по прибытии на пожар принимает на себя руководство тушением пожара.

5. Отключать присоединения, на которых горит оборудование, может дежурный персонал без предварительного получения разрешения вышестоящего лица, осуществляющего оперативное руководство, но с последующим уведомлением его о произведённом отключении.

6. Пожарные подразделения приступают к тушению пожара после инструктажа, проведённого старшим из технического персонала, и получения от него письменного разрешения на тушение пожара.

7. Работа пожарных подразделений при тушении пожара производится с учётом указаний старшего лица технического персонала по соблюдению правил техники безопасности и возможности загорания рядом стоящего оборудования.

8. Недопустимо проникновение личного состава пожарных подразделений за ограждения токоведущих частей, находящихся под напряжением. Во время пожара усиливается охрана территории и к месту пожара не допускаются посторонние лица.

Щиты с пожарным инвентарём, первичные средства пожаротушения находятся на видных местах, имеют свободный доступ и окрашиваются масляной краской в красный цвет.

Для пожаротушения автотрансформаторов 125 МВА, на подстанциях предусматривается автоматическая система пожаротушения распылённой водой, в которую входит насосная станция пожаротушения с насосами ДЗ20-50, камера переключения задвижек, сухо-трубопроводы, трубная обвязка автотрансформаторов с оросителями ОПДР-15 и пожарные резервуары. Расход воды на тушение одного автотрансформатора составляет 70,4 л/с.

Аппаратная маслохозяйства и насосная станция пожаротушения оборудуются пожарными кранами с расходом 5 л/с.

Наружное пожаротушение совершается передвижными устройствами от пожарных гидрантов с расходом 10 л/с.

Восстановление пожарного запаса предусмотрено в течение 36 часов от двух скважин, одна из которых – рабочая, вторая – резервная.

Для ограничения пожара при возгорании масла под трансформатором оборудуется специальная масло-приёмная яма, покрытая решёткой, поверх которой насыпают гравий. При этом масло из бака через нижний спускной кран сливают через гравий в яму.

Пуск средств пожаротушения осуществляется при срабатывании датчика пожарной сигнализации в помещении и при срабатывании защит автотрансформатора, реагирующих на внутренние повреждения (газовой или дифференциальной). Автоматический пуск пожаротушения дублируется дистанционно со щита управления и ручным пуском у места установки в безопасном от пожара месте.

Трансформаторы и другие электроустановки, расположенные рядом с источником возгорания, защищают распылённой водой от повышения температуры.

При тушении щитов управления, релейных панелей, являющихся наиболее ответственной частью электроустановки, следует сохранить аппаратуру, установленную на них.

При возгорании кабелей, проводок и аппаратуры на панелях в первую очередь с них снимают напряжение, затем приступают к тушению, не допуская перехода огня на соседние панели. Для тушения используют углекислотные (ОУ-5, ОУ-8) или углекислотные – бромэтиловые (ОУБ-3, ОУБ-7) огнетушители, а также распылённую воду.

В случае тушения пожара без снятия напряжения прикасаться к кабелям, проводам и аппаратуре запрещено.

Для обеспечения взрывобезопасности в помещении аккумуляторной предусматривается принудительная вентиляция с резервом оборудования, а также установка электродвигателей вентиляторов и светильников во взрывобезопасном исполнении.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной выпускной квалификационной работы на тему «Развитие электрических сетей 35-110 кВ в районе города Артём Приморского края» были решены основные задачи, связанные её развитием.

Произведён выбор более мощных силовых трансформаторов на подстанции «Западная» в связи перераспределением перетоков мощности в перспективном варианте сети, заменено устаревшее оборудование на современное, произведена постройка новых и реконструкция старых линий электропередачи, которые улучшили общее состояние сети и повысили её устойчивость в аварийных режимах работы, и соответственно обеспечить надёжное электроснабжение большого количества потребителей данного района. Благодаря произведённому развитию сети в сети уменьшились потери

электроэнергии, и на крупных подстанциях появился резерв свободной мощности, что даст возможность подключения новых потребителей.

Согласно расчётам, которые были проведены в данной работе, оборудование КРУ ПС «Шахтовая» устойчиво к действию токов короткого замыкания. Данное оборудование выбрано с учётом требований в части климатического исполнения и способно выполнять свои необходимые функции в нормальных и аварийных режимах работы.

Выполнен расчёт заземления ПС «Шахтовая», рассчитана молниезащита оборудования ПС на двух уровнях. Данное устройство повысит надёжность работы во время грозовой активности и продлит срок эксплуатации оборудования.

Произведён расчёт уставок релейной защиты силового трансформатора 35/6 кВ, установленного на подстанции «Шахтовая».

Рассмотрены вопросы безопасности и экологичности, а также вопросы пожарной безопасности энергетических объектов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Беляков, Ю.П. Релейная защита и автоматика электрических систем / Ю. П. Беляков, А. Н. Козлов, Ю. В. Мясоедов. Учебное пособие. – Благовещенск : Амурский гос. ун-т, 2004. – 136 с.

2 Кукин, П.П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств / П. П. Кукин, В. Л. Лапин, Н. Л. Пономарев. Учеб. пособие для вузов., 2-е изд. испр. и доп. М. : Высш. шк., 2002. – 319 с.

3 ГОСТ 27514-87. Короткие замыкания в электроустановках. Постановление государственного комитета СССР по стандартам от 14.12.87 № 4495, 1987. – 40 с.

4 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования

Постановление Госстандарта СССР от 14.06.1991 № 875 ГОСТ от 14.06.1991 № 12.1.004-91 Государственные стандарты и другие документы, 1991. – 68 с.

5 ГОСТ 12.4.009-83. Государственный стандарт СССР. Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание. 1983. – 24 с.

6 Заземления в сетях высокого напряжения / под ред. Р. Н. Карякина. – М. : Энергоатомиздат, 2002. – 377 с.

7 Идельчик, В. И. Электрические системы и сети / В.И. Идельчик. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.

8 Блок, В.М. Электрические системы и сети. – М. : Высш.шк.,1986. – 430 с.

9 Китушин, В.Г. Надежность энергетических систем. Часть 1. Теоретические основы. Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 256 с.

10 Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / Б. И. Неклепаев, И. П. Крючков. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

11 Герасимов, В.Г. Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. М. : издательство МЭИ, 2004. – 964 с. М., 2003. – 46 с.

12 Веников, В.А. Надежность и эффективность сетей электрических систем / В. А. Веников, Ю. А. – М. : Высш. шк., 1989. – 151 с.

13 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий. Челябинск: АТОКСО, 1995. – 42 с.

14 Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок. – Министерство энергетики и электрификации СССР, Управление по технике безопасности и промышленной санитарии, М. : Энергоатомиздат, 1986.

15 Правила устройства электроустановок. – М. : НЦ ЭНАС, 2003.

16 Поспелов, Г.Е. Электрические системы и сети / Г. Е. Поспелов, В. Т.

Федин. – Проектирование. Учеб. пособие для вузов – Минск: «Высшая школа», 1988. – 301 с.

17 Ротачёв, Ю. А. Релейная защита и автоматика / Учебно-методическое пособие для студентов заочного обучения. Амурский гос. ун-т : – Благовещенск, 2000. – 58 с.

18 РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / под ред. Б. Н. Неклепаева. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2001.

19 РД 153–34.3–35.125–99. Руководство по защите электрических сетей 6–1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений / под научной ред. Н. Н. Тиходеева. – С.-Петербург : ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. – 353 с.

20 Рожкова, Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций / Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

21 СНиП 23-03–2003. «Нормы проектирования. Защита от шума». Система нормативных документов в строительстве. М. : 2010. – 67 с.

22 Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 448 с.

23 СНиП 21-01-97\*. Пожарная безопасность зданий и сооружений. Постановление Министра России от 13.02.1997 № 18-7 СНиП от 13.02.1997 № 21-01-97\*. Строительные нормы и правила РФ.

24 Электрощит.Ру [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.electroshield.ru/catalog/properties/0/177>. – 04.06.2016.

25 Техника безопасности при строительно-монтажных работах в энергетике. Справочное пособие / под ред. П. Н. Долина. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 544 с.

26 Веников, В.А. Электрические системы. Электрические сети / В. А. Веников, А. А. Глазунов, Л. А. Жуков и др.: под ред. В. А. Веникова, В. А. Строева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1998. – 511 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А  
Прогнозирование нагрузок

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А  
Прогнозирование нагрузок

ПРИЛОЖЕНИЕ Б  
Расчёт силовых трансформаторов

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Б  
Расчёт силового трансформатора

ПРИЛОЖЕНИЕ В  
Расчёт сечения ЛЭП

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Расчёт токов КЗ

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Г

Расчёт токов КЗ

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Г

Расчёт токов КЗ

ПРИЛОЖЕНИЕ Д  
Выбор оборудования ПС

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Д  
Выбор оборудования ПС

ПРИЛОЖЕНИЕ Е  
Расчёт уставок релейной защиты

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж  
Расчёт заземлителя и молниезащиты

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Ж  
Расчёт заземлителя и молниезащиты

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ Ж  
Расчёт заземлителя и молниезащиты

ПРИЛОЖЕНИЕ 3  
Оценка надёжности

## ПРИЛОЖЕНИЕ И

Моделирование сети при помощи ПК RastrWin3

Режим существующей сети:

| Тип  | Номер | Название           | U_ном | N... | P_н  | Q_н  | P_г   | Q_г    | V_зд  | Q_min  | Q_max | B_ш | V      | Delta |
|------|-------|--------------------|-------|------|------|------|-------|--------|-------|--------|-------|-----|--------|-------|
| Ген- | 1     | АТЭЦ 5Т-6Т НН      | 16    |      |      |      | 180,0 | -100,0 | 16,5  | -100,0 | 180,0 |     | 16,97  | 2,91  |
| Нагр | 2     | АТЭЦ 5Т-6Т ВН      | 110   |      | 45,5 | 18,2 |       |        |       |        |       |     | 119,95 | 0,03  |
| База | 3     | АТЭЦ 2Т-4Т ВН      | 110   |      | 37,3 | 14,9 | 42,0  | 214,0  | 120,0 |        |       |     | 120,00 |       |
| Нагр | 4     | АТЭЦ 2Т-4Т о.т.    | 110   |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 117,81 | -1,87 |
| Нагр | 5     | АТЭЦ 2Т-4Т СН      | 35    |      | 0,3  | 0,1  |       |        |       |        |       |     | 37,46  | -1,85 |
| Нагр | 6     | АТЭЦ 2Т-4Т НН      | 6     |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 6,43   | -1,87 |
| Нагр | 7     | Мебельная 2Т ВН    | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 37,15  | -2,43 |
| Нагр | 8     | Мебельная 2Т НН    | 6     |      | 0,6  | 0,3  |       |        |       |        |       |     | 6,33   | -2,81 |
| Нагр | 9     | Мебельная 1Т ВН    | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 37,15  | -2,43 |
| Нагр | 10    | Мебельная 1Т НН    | 6     |      | 0,3  | 0,3  |       |        |       |        |       |     | 6,33   | -2,81 |
| Нагр | 11    | М-70/АС300         | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 37,14  | -2,46 |
| Нагр | 12    | Трикотажная 2Т ВН  | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 37,06  | -2,53 |
| Нагр | 13    | Трикотажная 2Т НН  | 6     |      | 6,0  | 2,4  |       |        |       |        |       |     | 6,28   | -3,76 |
| Нагр | 14    | Трикотажная 1Т ВН  | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 37,06  | -2,53 |
| Нагр | 15    | Трикотажная 1Т НН  | 6     |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 6,28   | -3,76 |
| Нагр | 16    | Шахтовая 1Т ВН     | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 35,25  | -4,85 |
| Нагр | 17    | Шахтовая 1Т НН     | 6     |      | 4,2  | 1,7  |       |        |       |        |       |     | 5,93   | -6,93 |
| Нагр | 18    | Шахтовая 2Т ВН     | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 35,25  | -4,85 |
| Нагр | 19    | Шахтовая 2Т НН     | 6     |      | 5,5  | 2,2  |       |        |       |        |       |     | 5,89   | -7,62 |
| Нагр | 20    | Артёмовская 1Т ВН  | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 34,55  | -5,51 |
| Нагр | 21    | Артёмовская 1Т НН  | 6     |      | 8,9  | 3,6  |       |        |       |        |       |     | 5,76   | -8,66 |
| Нагр | 22    | Артёмовская 2Т ВН  | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 34,55  | -5,51 |
| Нагр | 23    | Артёмовская 2Т НН  | 6     |      | 8,9  | 3,6  |       |        |       |        |       |     | 5,78   | -8,40 |
| Нагр | 24    | М-70/АС-70         | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,44  | -3,50 |
| Нагр | 25    | Западная 1Т-2Т СН  | 35    |      | 6,4  | 2,6  |       |        |       |        |       |     | 36,44  | -3,50 |
| Нагр | 26    | Западная 1Т-2Т НН  | 6     |      | 9,3  | 3,7  |       |        |       |        |       |     | 6,23   | -3,94 |
| Нагр | 27    | Западная 1Т-2Т о.т | 110   |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 114,62 | -3,52 |
| Нагр | 28    | Западная 1Т-2Т ВН  | 110   |      | 34,9 | 14,0 |       |        |       |        |       |     | 117,20 | -1,04 |
| Нагр | 29    | Заводская 1Т ВН    | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,39  | -3,60 |
| Нагр | 30    | Заводская 1Т НН    | 6     |      | 2,2  | 0,9  |       |        |       |        |       |     | 6,16   | -4,97 |
| Нагр | 31    | Заводская 2Т ВН    | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,05  | -4,14 |
| Нагр | 32    | Заводская 2Т НН    | 6     |      | 1,0  | 0,4  |       |        |       |        |       |     | 6,14   | -4,77 |
| Нагр | 33    | АС-240/М-70        | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 35,98  | -4,25 |
| Нагр | 34    | Угловая 1Т ВН      | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 35,52  | -4,70 |
| Нагр | 35    | Угловая 1Т НН      | 6     |      | 7,2  | 2,9  |       |        |       |        |       |     | 5,88   | -8,35 |
| Нагр | 36    | Угловая 2Т ВН      | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 35,52  | -4,70 |
| Нагр | 37    | Угловая 2Т НН      | 6     |      | 6,6  | 2,6  |       |        |       |        |       |     | 5,90   | -8,01 |
| Нагр | 38    | Ключевая 1Т ВН     | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 34,49  | -5,52 |
| Нагр | 39    | Ключевая 1Т НН     | 6     |      | 0,6  | 0,3  |       |        |       |        |       |     | 5,87   | -6,15 |
| Нагр | 40    | Ключевая 2Т ВН     | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,97  | -1,82 |
| Нагр | 41    | Ключевая 2Т НН     | 6     |      | 0,6  | 0,3  |       |        |       |        |       |     | 6,30   | -2,42 |
| Нагр | 42    | Касатка 1Т ВН      | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 37,00  | -1,81 |
| Нагр | 43    | Касатка 1Т НН      | 6     |      | 1,3  | 0,5  |       |        |       |        |       |     | 6,27   | -3,02 |
| Нагр | 44    | Касатка 2Т ВН      | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 37,00  | -1,81 |
| Нагр | 45    | Касатка 2Т НН      | 6     |      | 1,3  | 0,5  |       |        |       |        |       |     | 6,27   | -3,02 |
| Нагр | 46    | Птицефабрика 1Т ВН | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 37,22  | -1,98 |
| Нагр | 47    | Птицефабрика 1Т НН | 6     |      | 1,6  | 0,6  |       |        |       |        |       |     | 6,33   | -2,90 |
| Нагр | 48    | Птицефабрика 2Т ВН | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 37,22  | -1,98 |
| Нагр | 49    | Птицефабрика 2Т НН | 6     |      | 2,0  | 0,8  |       |        |       |        |       |     | 6,31   | -3,14 |
| Нагр | 50    | Кролевы 1Т-2Т СН   | 35    |      | 2,6  | 1,1  |       |        |       |        |       |     | 37,55  | -1,51 |
| Нагр | 51    | Кролевы 1Т-2Т НН   | 6     |      | 4,9  | 2,0  |       |        |       |        |       |     | 6,42   | -1,87 |
| Нагр | 52    | Кролевы 1Т-2Т о.т. | 110   |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 118,07 | -1,52 |
| Нагр | 53    | Кролевы 1Т-2Т ВН   | 110   |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 119,27 | -0,28 |
| Нагр | 54    | Отпайка 1 АС-150   | 110   |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 119,30 | -0,26 |
| Нагр | 55    | Отпайка 2 АС-150   | 110   |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 119,30 | -0,26 |
| Нагр | 56    | Шахта-7 1Т ВН      | 110   |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 117,69 | -0,83 |
| Нагр | 57    | Шахта-7 1Т НН      | 6     |      | 8,8  | 3,5  |       |        |       |        |       |     | 6,25   | -4,02 |
| Нагр | 58    | Шахта-7 2Т ВН      | 110   |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 117,68 | -0,84 |
| Нагр | 59    | Шахта-7 2Т НН      | 6     |      | 9,6  | 3,8  |       |        |       |        |       |     | 6,23   | -4,30 |

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ И  
 Моделирование сети при помощи ПК RastrWin3

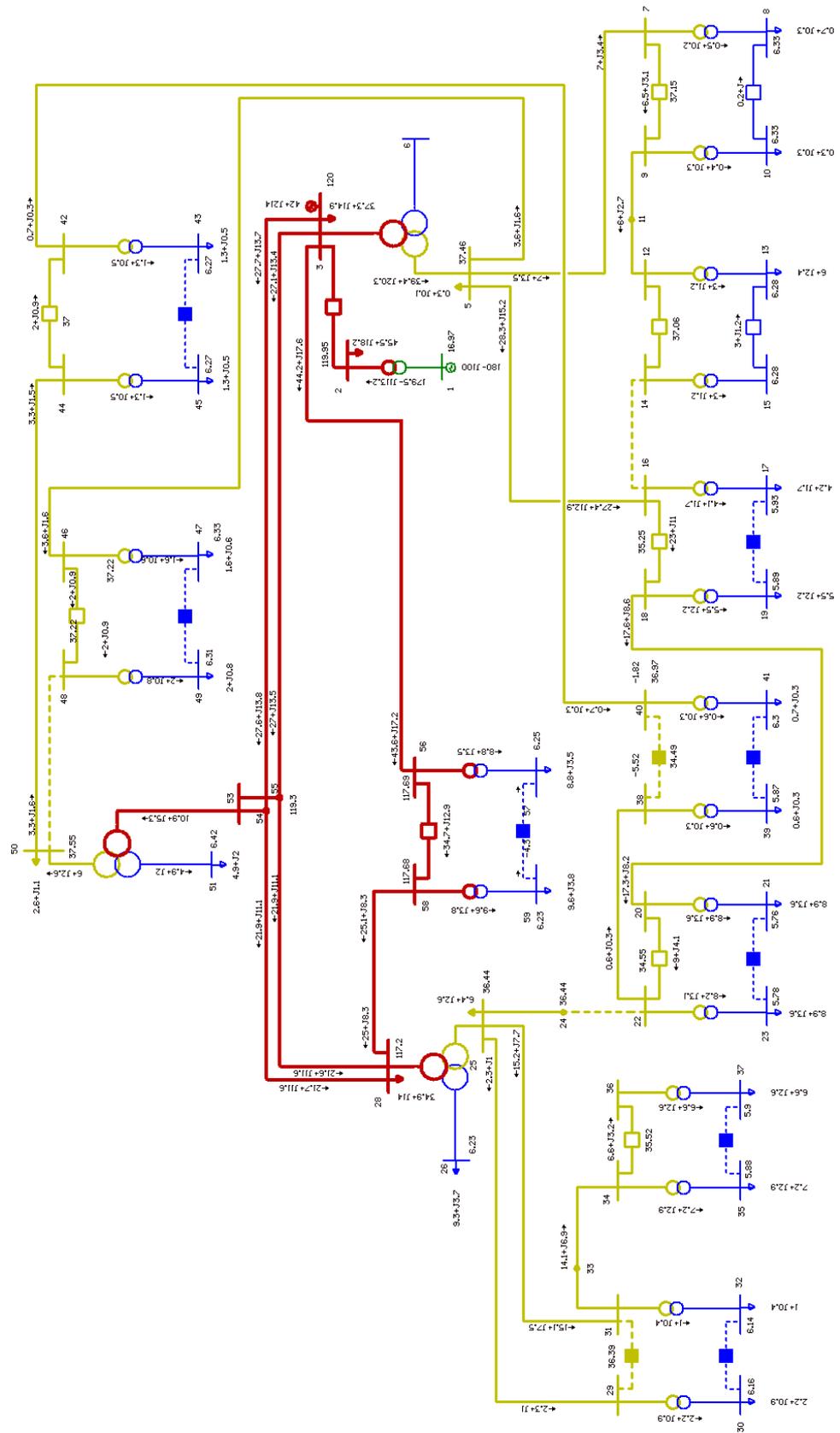
| S    | Тип | N_нач | N_кон | Название                    | R    | X     | B     | Кт/г  | P_нач | Q_нач | I_max |
|------|-----|-------|-------|-----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Тр-р | 2   | 1     | 1     | АТЭЦ 5Т-6Т ВН - АТЭЦ 5...   | 0,10 | 3,85  | 82,6  | 0,145 | 179   | -113  | 1 021 |
| Тр-р | 3   | 4     | 4     | АТЭЦ 2Т-4Т ВН - АТЭЦ 2...   | 0,27 | 11,83 | 59,5  | 1,000 | -40   | -23   | 220   |
| Тр-р | 4   | 5     | 5     | АТЭЦ 2Т-4Т о.т. - АТЭЦ ...  | 0,27 |       |       | 0,318 | -39   | -20   | 217   |
| Тр-р | 4   | 6     | 6     | АТЭЦ 2Т-4Т о.т. - АТЭЦ ...  | 0,27 | 7,43  |       | 0,055 | 0     | 0     | 0     |
| ЛЭП  | 5   | 7     | 7     | АТЭЦ 2Т-4Т СН - Мебель...   | 0,52 | 2,27  |       |       | -7    | -3    | 120   |
| Тр-р | 7   | 8     | 8     | Мебельная 2Т ВН - Мебе...   | 4,43 | 21,06 | 49,0  | 0,171 | 0     | 0     | 9     |
| Выкл | 7   | 9     | 9     | Мебельная 2Т ВН - Мебе...   |      |       |       |       | -6    | -3    | 111   |
| Тр-р | 9   | 10    | 10    | Мебельная 1Т ВН - Мебе...   | 2,60 | 23,00 | 32,7  | 0,171 | 0     | 0     | 8     |
| Выкл | 8   | 10    | 10    | Мебельная 2Т ВН - Мебе...   |      |       |       |       | 0     | 0     | 15    |
| ЛЭП  | 9   | 11    | 11    | Мебельная 1Т ВН - М-70/...  | 0,00 | 0,11  |       |       | -6    | -3    | 103   |
| ЛЭП  | 11  | 12    | 12    | М-70/АС300 - Трикотаажн...  | 0,29 | 0,44  |       |       | -6    | -3    | 103   |
| Тр-р | 12  | 13    | 13    | Трикотаажная 2Т ВН - Три... | 0,88 | 10,10 | 65,3  | 0,171 | -3    | -1    | 52    |
| Тр-р | 14  | 15    | 15    | Трикотаажная 1Т ВН - Три... | 0,88 | 10,10 | 65,3  | 0,171 | -3    | -1    | 51    |
| Выкл | 12  | 14    | 14    | Трикотаажная 2Т ВН - Три... |      |       |       |       | -3    | -1    | 51    |
| Выкл | 15  | 13    | 13    | Трикотаажная 1Т ВН - Три... |      |       |       |       | -3    | -1    | 296   |
| ЛЭП  | 14  | 16    | 16    | Трикотаажная 1Т ВН - Ша...  | 0,29 | 0,55  |       |       |       |       |       |
| Тр-р | 16  | 17    | 17    | Шахтовая 1Т ВН - Шахто...   | 0,96 | 11,10 | 65,3  | 0,171 | -4    | -2    | 75    |
| Тр-р | 18  | 19    | 19    | Шахтовая 2Т ВН - Шахто...   | 0,96 | 11,10 | 65,3  | 0,171 | -6    | -3    | 100   |
| Выкл | 19  | 17    | 17    | Шахтовая 2Т ВН - Шахто...   |      |       |       |       |       |       |       |
| Выкл | 18  | 16    | 16    | Шахтовая 2Т ВН - Шахто...   |      |       |       |       | 23    | 11    | 417   |
| ЛЭП  | 18  | 20    | 20    | Шахтовая 2Т ВН - Артём...   | 0,82 | 1,20  |       |       | -18   | -9    | 320   |
| Тр-р | 20  | 21    | 21    | Артёмовская 1Т ВН - Арт...  | 0,52 | 7,40  | 78,4  | 0,171 | -9    | -4    | 165   |
| Тр-р | 22  | 23    | 23    | Артёмовская 2Т ВН - Арт...  | 0,52 | 7,40  | 78,4  | 0,171 | -8    | -4    | 150   |
| Выкл | 22  | 20    | 20    | Артёмовская 2Т ВН - Арт...  |      |       |       |       | 9     | 4     | 165   |
| Выкл | 23  | 21    | 21    | Артёмовская 2Т ВН - Арт...  |      |       |       |       |       |       |       |
| ЛЭП  | 22  | 24    | 24    | Артёмовская 2Т ВН - М-7...  | 0,31 | 0,48  |       |       |       |       |       |
| ЛЭП  | 24  | 25    | 25    | М-70/АС-70 - Западная 1...  | 0,02 | 0,02  |       |       | 0     | 0     | 0     |
| Тр-р | 28  | 27    | 27    | Западная 1Т-2Т ВН - Зап...  | 0,45 | 17,75 | 52,9  | 1,000 | -33   | -18   | 186   |
| Тр-р | 27  | 26    | 26    | Западная 1Т-2Т о.т - Зап... | 0,45 | 10,35 |       | 0,055 | -9    | -4    | 51    |
| Тр-р | 27  | 25    | 25    | Западная 1Т-2Т о.т - Зап... | 0,45 |       |       | 0,318 | -24   | -11   | 133   |
| ЛЭП  | 25  | 29    | 29    | Западная 1Т-2Т СН - Зав...  | 0,36 | 1,15  |       |       | -2    | -1    | 39    |
| Тр-р | 29  | 30    | 30    | Заводская 1Т ВН - Завод...  | 1,40 | 14,60 | 46,3  | 0,171 | -2    | -1    | 39    |
| Тр-р | 31  | 32    | 32    | Заводская 2Т ВН - Завод...  | 1,40 | 14,60 | 46,3  | 0,171 | -1    | 0     | 18    |
| Выкл | 30  | 32    | 32    | Заводская 1Т ВН - Завод...  |      |       |       |       |       |       |       |
| Выкл | 29  | 31    | 31    | Заводская 1Т ВН - Завод...  |      |       |       |       |       |       |       |
| ЛЭП  | 31  | 33    | 33    | Заводская 2Т ВН - АС-24...  | 0,06 | 0,21  |       |       | -14   | -7    | 252   |
| ЛЭП  | 33  | 34    | 34    | АС-240/М-70 - Угловая 1...  | 0,68 | 1,04  |       |       | -14   | -7    | 252   |
| Тр-р | 34  | 35    | 35    | Угловая 1Т ВН - Угловая...  | 0,96 | 11,10 | 65,3  | 0,171 | -7    | -4    | 132   |
| Тр-р | 36  | 37    | 37    | Угловая 2Т ВН - Угловая...  | 0,96 | 11,10 | 65,3  | 0,171 | -7    | -3    | 120   |
| Выкл | 34  | 36    | 36    | Угловая 1Т ВН - Угловая...  |      |       |       |       | -7    | -3    | 120   |
| Выкл | 35  | 37    | 37    | Угловая 1Т ВН - Угловая...  |      |       |       |       |       |       |       |
| ЛЭП  | 22  | 38    | 38    | Артёмовская 2Т ВН - Кл...   | 2,65 | 1,76  |       |       | -1    | 0     | 12    |
| Тр-р | 38  | 39    | 39    | Ключевая 1Т ВН - Ключе...   | 2,60 | 23,00 | 32,7  | 0,171 | -1    | 0     | 12    |
| Тр-р | 40  | 41    | 41    | Ключевая 2Т ВН - Ключе...   | 2,60 | 23,00 | 32,7  | 0,171 | -1    | 0     | 11    |
| Выкл | 41  | 39    | 39    | Ключевая 2Т ВН - Ключе...   |      |       |       |       |       |       |       |
| Выкл | 38  | 40    | 40    | Ключевая 1Т ВН - Ключе...   |      |       |       |       |       |       |       |
| ЛЭП  | 16  | 5     | 5     | Шахтовая 1Т ВН - АТЭЦ ...   | 1,30 | 3,14  |       |       | 27    | 13    | 495   |
| ЛЭП  | 40  | 42    | 42    | Ключевая 2Т ВН - Касатка... | 1,42 | 0,94  |       |       | 1     | 0     | 11    |
| Тр-р | 42  | 43    | 43    | Касатка 1Т ВН - Касатка...  | 2,60 | 23,00 | 32,7  | 0,171 | -1    | -1    | 22    |
| Тр-р | 44  | 45    | 45    | Касатка 2Т ВН - Касатка...  | 2,60 | 23,00 | 32,7  | 0,171 | -1    | -1    | 22    |
| Выкл | 43  | 45    | 45    | Касатка 1Т ВН - Касатка...  |      |       |       |       |       |       |       |
| Выкл | 42  | 44    | 44    | Касатка 1Т ВН - Касатка...  |      |       |       |       | 2     | 1     | 34    |
| ЛЭП  | 44  | 50    | 50    | Касатка 2Т ВН - Кролевец... | 4,28 | 4,20  |       |       | 3     | 2     | 56    |
| ЛЭП  | 50  | 48    | 48    | Кролевец 1Т-2Т СН - Пт...   | 2,44 | 2,39  |       |       |       |       |       |
| Тр-р | 48  | 49    | 49    | Птицефабрика 2Т ВН - П...   | 1,40 | 14,60 | 46,3  | 0,171 | -2    | -1    | 34    |
| Тр-р | 46  | 47    | 47    | Птицефабрика 1Т ВН - П...   | 1,40 | 14,60 | 46,3  | 0,171 | -2    | -1    | 27    |
| Выкл | 48  | 46    | 46    | Птицефабрика 2Т ВН - П...   |      |       |       |       | 2     | 1     | 34    |
| Выкл | 49  | 47    | 47    | Птицефабрика 2Т ВН - П...   |      |       |       |       |       |       |       |
| ЛЭП  | 46  | 5     | 5     | Птицефабрика 1Т ВН - А...   | 1,71 | 1,68  |       |       | 4     | 2     | 61    |
| Тр-р | 53  | 52    | 52    | Кролевец 1Т-2Т ВН - Кро...  | 0,75 | 28,45 | 28,9  | 1,000 | -11   | -5    | 59    |
| Тр-р | 52  | 50    | 50    | Кролевец 1Т-2Т о.т. - К...  | 0,75 |       |       | 0,318 | -6    | -3    | 32    |
| Тр-р | 52  | 51    | 51    | Кролевец 1Т-2Т о.т. - К...  | 0,75 | 17,85 |       | 0,055 | -5    | -2    | 26    |
| ЛЭП  | 53  | 54    | 54    | Кролевец 1Т-2Т ВН - От...   | 0,32 | 0,68  | -4,4  |       | 6     | 3     | 31    |
| ЛЭП  | 53  | 55    | 55    | Кролевец 1Т-2Т ВН - От...   | 0,32 | 0,68  | -4,4  |       | 5     | 3     | 28    |
| ЛЭП  | 28  | 54    | 54    | Западная 1Т-2Т ВН - Отп...  | 5,43 | 11,51 | -74,0 |       | 22    | 12    | 121   |
| ЛЭП  | 54  | 3     | 3     | Отпайка 1 АС-150 - АТЭ...   | 1,47 | 3,11  | -20,0 |       | 28    | 14    | 150   |
| Выкл | 2   | 3     | 3     | АТЭЦ 5Т-6Т ВН - АТЭЦ 2...   |      |       |       |       | -134  | 131   | 903   |
| ЛЭП  | 28  | 55    | 55    | Западная 1Т-2Т ВН - Отп...  | 5,43 | 11,51 | -74,0 |       | 22    | 12    | 121   |
| ЛЭП  | 55  | 3     | 3     | Отпайка 2 АС-150 - АТЭ...   | 1,50 | 3,19  | -20,5 |       | 27    | 14    | 146   |
| ЛЭП  | 28  | 58    | 58    | Западная 1Т-2Т ВН - Ша...   | 1,47 | 2,39  | -14,8 |       | 25    | 8     | 130   |
| Тр-р | 58  | 59    | 59    | Шахта-7 2Т ВН - Шахта-...   | 4,38 | 86,70 | 9,3   | 0,055 | -10   | -5    | 52    |
| Тр-р | 56  | 57    | 57    | Шахта-7 1Т ВН - Шахта-...   | 4,38 | 86,70 | 9,3   | 0,055 | -9    | -4    | 48    |
| Выкл | 58  | 56    | 56    | Шахта-7 2Т ВН - Шахта-...   |      |       |       |       | 35    | 13    | 182   |
| Выкл | 59  | 57    | 57    | Шахта-7 2Т ВН - Шахта-...   |      |       |       |       |       |       |       |
| ЛЭП  | 56  | 3     | 3     | Шахта-7 1Т ВН - АТЭЦ 2...   | 3,81 | 6,19  | -37,8 |       | 44    | 17    | 230   |
| ЛЭП  | 25  | 31    | 31    | Западная 1Т-2Т СН - Зав...  | 0,36 | 1,15  |       |       | -15   | -8    | 270   |

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ И

Моделирование сети при помощи ПВК RastrWin3

| N_нач | N_кон | Название                   | I_нач | I_кон |
|-------|-------|----------------------------|-------|-------|
| 5     | 7     | АТЭЦ 2Т-4Т СН - Мебель...  | 120   | 120   |
| 9     | 11    | Мебельная 1Т ВН - М-70/... | 103   | 103   |
| 11    | 12    | М-70/АС300 - Трикотаажн... | 103   | 103   |
| 14    | 16    | Трикотажная 1Т ВН - Ша...  |       |       |
| 18    | 20    | Шахтовая 2Т ВН - Артём...  | 320   | 320   |
| 22    | 24    | Артёмовская 2Т ВН - М-7... |       |       |
| 24    | 25    | М-70/АС-70 - Западная 1... | 0     | 0     |
| 25    | 29    | Западная 1Т-2Т СН - Зав... | 39    | 39    |
| 31    | 33    | Заводская 2Т ВН - АС-24... | 252   | 252   |
| 33    | 34    | АС-240/М-70 - Угловая 1... | 252   | 252   |
| 22    | 38    | Артёмовская 2Т ВН - Кл...  | 12    | 12    |
| 16    | 5     | Шахтовая 1Т ВН - АТЭЦ ...  | 495   | 495   |
| 40    | 42    | Ключевая 2Т ВН - Касат...  | 11    | 11    |
| 44    | 50    | Касатка 2Т ВН - Кролевц... | 56    | 56    |
| 50    | 48    | Кролевцы 1Т-2Т СН - Пт...  |       |       |
| 46    | 5     | Птицефабрика 1Т ВН - А...  | 61    | 61    |
| 53    | 54    | Кролевцы 1Т-2Т ВН - От...  | 31    | 31    |
| 53    | 55    | Кролевцы 1Т-2Т ВН - От...  | 28    | 28    |
| 28    | 54    | Западная 1Т-2Т ВН - Отп... | 121   | 119   |
| 54    | 3     | Отпайка 1 АС-150 - АТЭ...  | 150   | 149   |
| 28    | 55    | Западная 1Т-2Т ВН - Отп... | 121   | 119   |
| 55    | 3     | Отпайка 2 АС-150 - АТЭ...  | 146   | 146   |
| 28    | 58    | Западная 1Т-2Т ВН - Ша...  | 130   | 130   |
| 56    | 3     | Шахта-7 1Т ВН - АТЭЦ 2...  | 230   | 229   |
| 25    | 31    | Западная 1Т-2Т СН - Зав... | 270   | 270   |

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ И  
 Моделирование сети при помощи ПВК RastrWin3



Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ И

Моделирование сети при помощи ПК RastrWin3

## Перспективный режим со старой схемой сети:

| Тип  | Номер | Название           | U_ном | P_н  | Q_н  | P_г   | Q_г    | V_зд  | Q_min  | Q_max | B_ш | V      | Delta  |
|------|-------|--------------------|-------|------|------|-------|--------|-------|--------|-------|-----|--------|--------|
| Ген- | 1     | АТЭЦ 5Т-6Т НН      | 16    |      |      | 180,0 | -100,0 | 16,5  | -100,0 | 180,0 |     | 16,97  | 2,90   |
| Нагр | 2     | АТЭЦ 5Т-6Т ВН      | 110   | 58,3 | 23,3 |       |        |       |        |       |     | 119,94 | 0,02   |
| База | 3     | АТЭЦ 2Т-4Т ВН      | 110   | 47,7 | 19,1 | 108,4 | 250,2  | 120,0 |        |       |     | 120,00 |        |
| Нагр | 4     | АТЭЦ 2Т-4Т о.т.    | 110   |      |      |       |        |       |        |       |     | 116,57 | -2,61  |
| Нагр | 5     | АТЭЦ 2Т-4Т СН      | 35    | 0,3  | 0,1  |       |        |       |        |       |     | 37,05  | -2,57  |
| Нагр | 6     | АТЭЦ 2Т-4Т НН      | 6     |      |      |       |        |       |        |       |     | 6,36   | -2,61  |
| Нагр | 7     | Мебельная 2Т ВН    | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,65  | -3,38  |
| Нагр | 8     | Мебельная 2Т НН    | 6     | 0,8  | 0,3  |       |        |       |        |       |     | 6,23   | -4,08  |
| Нагр | 9     | Мебельная 1Т ВН    | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,65  | -3,38  |
| Нагр | 10    | Мебельная 1Т НН    | 6     | 0,8  | 0,3  |       |        |       |        |       |     | 6,23   | -4,08  |
| Нагр | 11    | М-70/АС300         | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,63  | -3,42  |
| Нагр | 12    | Трикотажная 2Т ВН  | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,53  | -3,52  |
| Нагр | 13    | Трикотажная 2Т НН  | 6     | 7,7  | 3,1  |       |        |       |        |       |     | 6,17   | -5,15  |
| Нагр | 14    | Трикотажная 1Т ВН  | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,53  | -3,52  |
| Нагр | 15    | Трикотажная 1Т НН  | 6     |      |      |       |        |       |        |       |     | 6,17   | -5,15  |
| Нагр | 16    | Шахтовая 1Т ВН     | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 33,67  | -6,87  |
| Нагр | 17    | Шахтовая 1Т НН     | 6     | 5,4  | 2,2  |       |        |       |        |       |     | 5,61   | -9,90  |
| Нагр | 18    | Шахтовая 2Т ВН     | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 33,67  | -6,88  |
| Нагр | 19    | Шахтовая 2Т НН     | 6     | 7,9  | 3,2  |       |        |       |        |       |     | 5,53   | -11,36 |
| Нагр | 20    | Артёмовская 1Т ВН  | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 32,61  | -7,84  |
| Нагр | 21    | Артёмовская 1Т НН  | 6     | 11,4 | 4,6  |       |        |       |        |       |     | 5,35   | -12,47 |
| Нагр | 22    | Артёмовская 2Т ВН  | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 32,61  | -7,85  |
| Нагр | 23    | Артёмовская 2Т НН  | 6     | 11,4 | 4,6  |       |        |       |        |       |     | 5,35   | -12,48 |
| Нагр | 24    | М-70/АС-70         | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,50  | -2,89  |
| Нагр | 25    | Западная 1Т-2Т СН  | 35    | 8,1  | 3,3  |       |        |       |        |       |     | 36,50  | -2,89  |
| Нагр | 26    | Западная 1Т-2Т НН  | 6     | 11,9 | 4,8  |       |        |       |        |       |     | 6,25   | -3,17  |
| Нагр | 27    | Западная 1Т-2Т о.т | 110   |      |      |       |        |       |        |       |     | 114,77 | -2,90  |
| Нагр | 28    | Западная 1Т-2Т ВН  | 110   | 44,7 | 17,9 |       |        |       |        |       |     | 116,39 | -1,34  |
| Нагр | 29    | Заводская 1Т ВН    | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,43  | -3,01  |
| Нагр | 30    | Заводская 1Т НН    | 6     | 2,8  | 1,1  |       |        |       |        |       |     | 6,14   | -4,75  |
| Нагр | 31    | Заводская 2Т ВН    | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 35,99  | -3,70  |
| Нагр | 32    | Заводская 2Т НН    | 6     | 1,2  | 0,6  |       |        |       |        |       |     | 6,12   | -4,48  |
| Нагр | 33    | АС-240/М-70        | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 35,90  | -3,84  |
| Нагр | 34    | Угловая 1Т ВН      | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 35,29  | -4,41  |
| Нагр | 35    | Угловая 1Т НН      | 6     | 9,2  | 3,7  |       |        |       |        |       |     | 5,77   | -9,14  |
| Нагр | 36    | Угловая 2Т ВН      | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 35,29  | -4,41  |
| Нагр | 37    | Угловая 2Т НН      | 6     | 8,5  | 3,3  |       |        |       |        |       |     | 5,81   | -8,77  |
| Нагр | 38    | Ключевая 1Т ВН     | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 32,53  | -7,87  |
| Нагр | 39    | Ключевая 1Т НН     | 6     | 0,8  | 0,3  |       |        |       |        |       |     | 5,52   | -8,82  |
| Нагр | 40    | Ключевая 2Т ВН     | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,60  | -2,33  |
| Нагр | 41    | Ключевая 2Т НН     | 6     | 0,8  | 0,3  |       |        |       |        |       |     | 6,23   | -3,08  |
| Нагр | 42    | Касатка 1Т ВН      | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,64  | -2,32  |
| Нагр | 43    | Касатка 1Т НН      | 6     | 1,7  | 0,7  |       |        |       |        |       |     | 6,18   | -3,94  |
| Нагр | 44    | Касатка 2Т ВН      | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,64  | -2,32  |
| Нагр | 45    | Касатка 2Т НН      | 6     | 1,7  | 0,7  |       |        |       |        |       |     | 6,18   | -3,94  |
| Нагр | 46    | Птицефабрика 1Т ВН | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,74  | -2,75  |
| Нагр | 47    | Птицефабрика 1Т НН | 6     | 2,0  | 0,8  |       |        |       |        |       |     | 6,23   | -3,98  |
| Нагр | 48    | Птицефабрика 2Т ВН | 35    |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,74  | -2,75  |
| Нагр | 49    | Птицефабрика 2Т НН | 6     | 2,6  | 1,0  |       |        |       |        |       |     | 6,21   | -4,33  |
| Нагр | 50    | Кролевы 1Т-2Т СН   | 35    | 3,3  | 1,4  |       |        |       |        |       |     | 37,36  | -1,93  |
| Нагр | 51    | Кролевы 1Т-2Т НН   | 6     | 6,2  | 2,6  |       |        |       |        |       |     | 6,38   | -2,40  |
| Нагр | 52    | Кролевы 1Т-2Т о.т. | 110   |      |      |       |        |       |        |       |     | 117,46 | -1,94  |
| Нагр | 53    | Кролевы 1Т-2Т ВН   | 110   |      |      |       |        |       |        |       |     | 119,06 | -0,35  |
| Нагр | 54    | Отпайка 1 АС-150   | 110   |      |      |       |        |       |        |       |     | 119,10 | -0,34  |
| Нагр | 55    | Отпайка 2 АС-150   | 110   |      |      |       |        |       |        |       |     | 119,09 | -0,34  |
| Нагр | 56    | Шахта-7 1Т ВН      | 110   |      |      |       |        |       |        |       |     | 117,01 | -1,07  |
| Нагр | 57    | Шахта-7 1Т НН      | 6     | 11,3 | 4,5  |       |        |       |        |       |     | 6,15   | -5,25  |
| Нагр | 58    | Шахта-7 2Т ВН      | 110   |      |      |       |        |       |        |       |     | 117,00 | -1,08  |
| Нагр | 59    | Шахта-7 2Т НН      | 6     | 12,3 | 4,9  |       |        |       |        |       |     | 6,13   | -5,65  |

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ И

Моделирование сети при помощи ПК RastrWin3

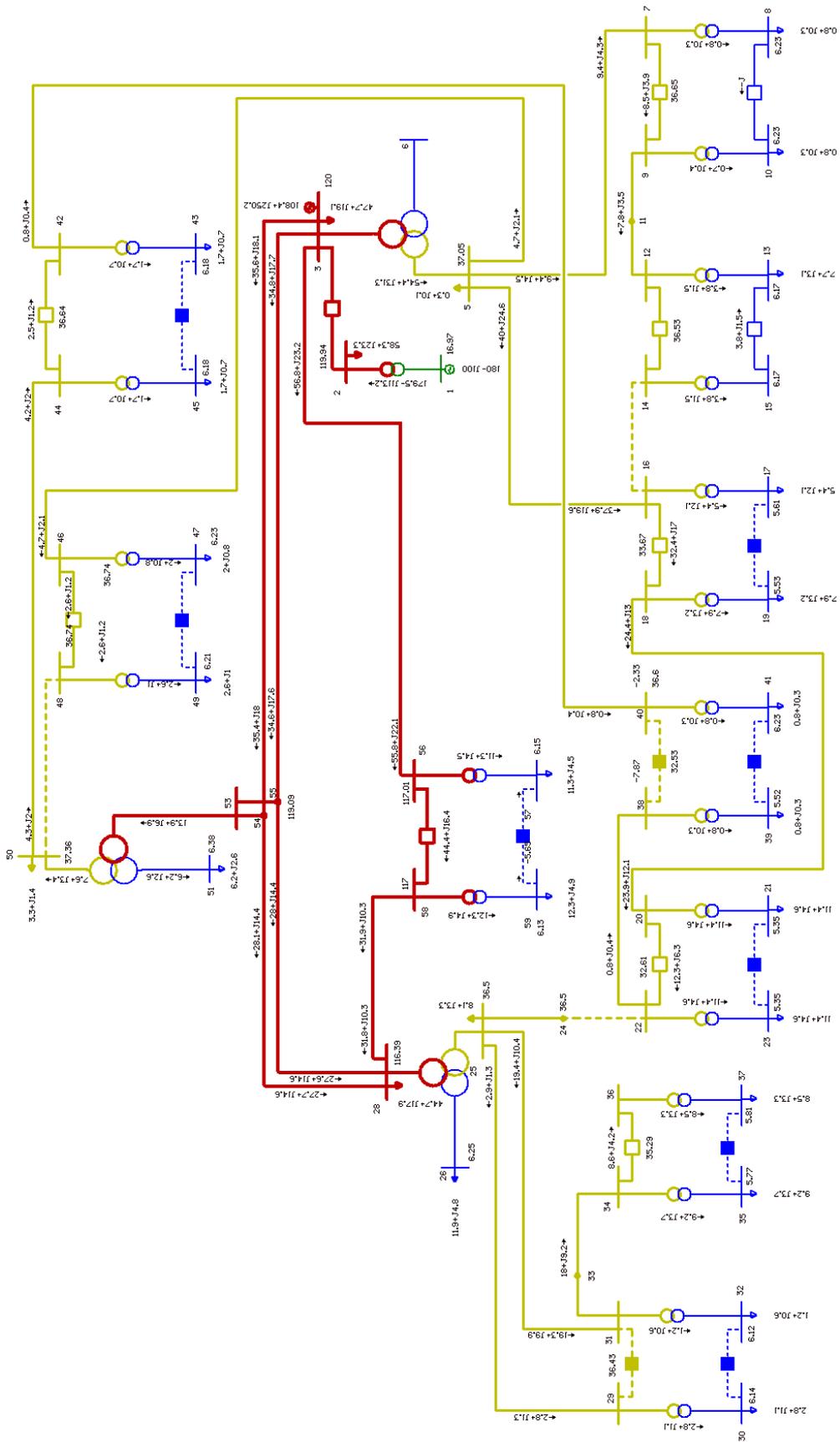
| S    | Тип  | N_нач | N_кон | Название                                | R    | X     | B     | Кт/r  | P_нач | Q_нач | I_max |
|------|------|-------|-------|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Тр-р | 2    | 1     |       | АТЭЦ 5Т-6Т ВН - АТЭЦ 5Т-6Т НН           | 0,10 | 3,85  | 82,6  | 0,145 | 179   | -113  | 1 021 |
| Тр-р | 3    | 4     |       | АТЭЦ 2Т-4Т ВН - АТЭЦ 2Т-4Т о.т.         | 0,27 | 11,83 | 59,5  | 1,000 | -55   | -36   | 314   |
| Тр-р | 4    | 5     |       | АТЭЦ 2Т-4Т о.т. - АТЭЦ 2Т-4Т СН         | 0,27 |       |       | 0,318 | -54   | -31   | 311   |
| Тр-р | 4    | 6     |       | АТЭЦ 2Т-4Т о.т. - АТЭЦ 2Т-4Т НН         | 0,27 | 7,43  |       | 0,055 | 0     | 0     | 0     |
| ЛЭП  | 5    | 7     |       | АТЭЦ 2Т-4Т СН - Мебельная 2Т ВН         | 0,52 | 2,27  |       |       | -9    | -5    | 163   |
| Тр-р | 7    | 8     |       | Мебельная 2Т ВН - Мебельная 2Т НН       | 4,43 | 21,06 | 49,0  | 0,171 | -1    | 0     | 15    |
| Выкл | 7    | 9     |       | Мебельная 2Т ВН - Мебельная 1Т ВН       |      |       |       |       | -9    | -4    | 148   |
| Тр-р | 9    | 10    |       | Мебельная 1Т ВН - Мебельная 1Т НН       | 2,60 | 23,00 | 32,7  | 0,171 | -1    | 0     | 14    |
| Выкл | 8    | 10    |       | Мебельная 2Т НН - Мебельная 1Т НН       |      |       |       |       | 0     | 0     | 5     |
| ЛЭП  | 9    | 11    |       | Мебельная 1Т ВН - М-70/АС300            | 0,00 | 0,11  |       |       | -8    | -4    | 134   |
| ЛЭП  | 11   | 12    |       | М-70/АС300 - Трикотажная 2Т ВН          | 0,29 | 0,44  |       |       | -8    | -4    | 134   |
| Тр-р | 12   | 13    |       | Трикотажная 2Т ВН - Трикотажная 2Т НН   | 0,88 | 10,10 | 65,3  | 0,171 | -4    | -2    | 67    |
| Тр-р | 14   | 15    |       | Трикотажная 1Т ВН - Трикотажная 1Т НН   | 0,88 | 10,10 | 65,3  | 0,171 | -4    | -2    | 67    |
| Выкл | 12   | 14    |       | Трикотажная 2Т ВН - Трикотажная 1Т ВН   |      |       |       |       | -4    | -2    | 67    |
| Выкл | 15   | 13    |       | Трикотажная 1Т НН - Трикотажная 2Т НН   |      |       |       |       | -4    | -2    | 387   |
| ✗    | ЛЭП  | 14    | 16    | Трикотажная 1Т ВН - Шахтовая 1Т ВН      | 0,29 | 0,55  |       |       |       |       |       |
| Тр-р | 16   | 17    |       | Шахтовая 1Т ВН - Шахтовая 1Т НН         | 0,96 | 11,10 | 65,3  | 0,171 | -5    | -3    | 104   |
| Тр-р | 18   | 19    |       | Шахтовая 2Т ВН - Шахтовая 2Т НН         | 0,96 | 11,10 | 65,3  | 0,171 | -8    | -4    | 154   |
| ✗    | Выкл | 19    | 17    | Шахтовая 2Т НН - Шахтовая 1Т НН         |      |       |       |       |       |       |       |
| Выкл | 18   | 16    |       | Шахтовая 2Т ВН - Шахтовая 1Т ВН         |      |       |       |       | 32    | 17    | 627   |
| ЛЭП  | 18   | 20    |       | Шахтовая 2Т ВН - Артёмовская 1Т ВН      | 0,82 | 1,20  |       |       | -24   | -13   | 474   |
| Тр-р | 20   | 21    |       | Артёмовская 1Т ВН - Артёмовская 1Т НН   | 0,52 | 7,40  | 78,4  | 0,171 | -12   | -6    | 229   |
| Тр-р | 22   | 23    |       | Артёмовская 2Т ВН - Артёмовская 2Т НН   | 0,52 | 7,40  | 78,4  | 0,171 | -12   | -6    | 229   |
| Выкл | 22   | 20    |       | Артёмовская 2Т ВН - Артёмовская 1Т ВН   |      |       |       |       | 12    | 6     | 245   |
| ✗    | Выкл | 23    | 21    | Артёмовская 2Т НН - Артёмовская 1Т НН   |      |       |       |       |       |       |       |
| ✗    | ЛЭП  | 22    | 24    | Артёмовская 2Т ВН - М-70/АС-70          | 0,31 | 0,48  |       |       |       |       |       |
| ЛЭП  | 24   | 25    |       | М-70/АС-70 - Западная 1Т-2Т СН          | 0,02 | 0,02  |       |       | 0     | 0     | 1     |
| Тр-р | 28   | 27    |       | Западная 1Т-2Т ВН - Западная 1Т-2Т о.т  | 0,22 | 8,88  | 105,8 | 1,000 | -42   | -22   | 235   |
| Тр-р | 27   | 26    |       | Западная 1Т-2Т о.т - Западная 1Т-2Т НН  | 0,22 | 5,18  |       | 0,055 | -12   | -5    | 64    |
| Тр-р | 27   | 25    |       | Западная 1Т-2Т о.т - Западная 1Т-2Т СН  | 0,22 |       |       | 0,318 | -30   | -15   | 170   |
| ЛЭП  | 25   | 29    |       | Западная 1Т-2Т СН - Заводская 1Т ВН     | 0,36 | 1,15  |       |       | -3    | -1    | 50    |
| Тр-р | 29   | 30    |       | Заводская 1Т ВН - Заводская 1Т НН       | 1,40 | 14,60 | 46,3  | 0,171 | -3    | -1    | 50    |
| Тр-р | 31   | 32    |       | Заводская 2Т ВН - Заводская 2Т НН       | 1,40 | 14,60 | 46,3  | 0,171 | -1    | -1    | 23    |
| ✗    | Выкл | 30    | 32    | Заводская 1Т НН - Заводская 2Т НН       |      |       |       |       |       |       |       |
| ✗    | Выкл | 29    | 31    | Заводская 1Т ВН - Заводская 2Т ВН       |      |       |       |       |       |       |       |
| ЛЭП  | 31   | 33    |       | Заводская 2Т ВН - АС-240/М-70           | 0,06 | 0,21  |       |       | -18   | -9    | 326   |
| ЛЭП  | 33   | 34    |       | АС-240/М-70 - Угловая 1Т ВН             | 0,68 | 1,04  |       |       | -18   | -9    | 326   |
| Тр-р | 34   | 35    |       | Угловая 1Т ВН - Угловая 1Т НН           | 0,96 | 11,10 | 65,3  | 0,171 | -9    | -5    | 170   |
| Тр-р | 36   | 37    |       | Угловая 2Т ВН - Угловая 2Т НН           | 0,96 | 11,10 | 65,3  | 0,171 | -9    | -4    | 156   |
| Выкл | 34   | 36    |       | Угловая 1Т ВН - Угловая 2Т ВН           |      |       |       |       | -9    | -4    | 156   |
| ✗    | Выкл | 35    | 37    | Угловая 1Т НН - Угловая 2Т НН           |      |       |       |       |       |       |       |
| ЛЭП  | 22   | 38    |       | Артёмовская 2Т ВН - Ключевая 1Т ВН      | 2,65 | 1,76  |       |       | -1    | 0     | 16    |
| Тр-р | 38   | 39    |       | Ключевая 1Т ВН - Ключевая 1Т НН         | 2,60 | 23,00 | 32,7  | 0,171 | -1    | 0     | 16    |
| Тр-р | 40   | 41    |       | Ключевая 2Т ВН - Ключевая 2Т НН         | 2,60 | 23,00 | 32,7  | 0,171 | -1    | 0     | 14    |
| ✗    | Выкл | 41    | 39    | Ключевая 2Т НН - Ключевая 1Т НН         |      |       |       |       |       |       |       |
| ✗    | Выкл | 38    | 40    | Ключевая 1Т ВН - Ключевая 2Т ВН         |      |       |       |       |       |       |       |
| ЛЭП  | 16   | 5     |       | Шахтовая 1Т ВН - АТЭЦ 2Т-4Т СН          | 1,30 | 3,14  |       |       | 38    | 20    | 731   |
| ЛЭП  | 40   | 42    |       | Ключевая 2Т ВН - Касатка 1Т ВН          | 1,42 | 0,94  |       |       | 1     | 0     | 14    |
| Тр-р | 42   | 43    |       | Касатка 1Т ВН - Касатка 1Т НН           | 2,60 | 23,00 | 32,7  | 0,171 | -2    | -1    | 30    |
| Тр-р | 44   | 45    |       | Касатка 2Т ВН - Касатка 2Т НН           | 2,60 | 23,00 | 32,7  | 0,171 | -2    | -1    | 30    |
| ✗    | Выкл | 43    | 45    | Касатка 1Т НН - Касатка 2Т НН           |      |       |       |       |       |       |       |
| Выкл | 42   | 44    |       | Касатка 1Т ВН - Касатка 2Т ВН           |      |       |       |       | 3     | 1     | 44    |
| ЛЭП  | 44   | 50    |       | Касатка 2Т ВН - Кролевы 1Т-2Т СН        | 4,28 | 4,20  |       |       | 4     | 2     | 73    |
| ✗    | ЛЭП  | 50    | 48    | Кролевы 1Т-2Т СН - Птицефабрика 2Т ВН   | 2,44 | 2,39  |       |       |       |       |       |
| Тр-р | 48   | 49    |       | Птицефабрика 2Т ВН - Птицефабрика 2Т НН | 1,40 | 14,60 | 46,3  | 0,171 | -3    | -1    | 45    |
| Тр-р | 46   | 47    |       | Птицефабрика 1Т ВН - Птицефабрика 1Т НН | 1,40 | 14,60 | 46,3  | 0,171 | -2    | -1    | 35    |
| Выкл | 48   | 46    |       | Птицефабрика 2Т ВН - Птицефабрика 1Т ВН |      |       |       |       | 3     | 1     | 45    |
| ✗    | Выкл | 49    | 47    | Птицефабрика 2Т НН - Птицефабрика 1Т НН |      |       |       |       |       |       |       |
| ЛЭП  | 46   | 5     |       | Птицефабрика 1Т ВН - АТЭЦ 2Т-4Т СН      | 1,71 | 1,68  |       |       | 5     | 2     | 80    |
| Тр-р | 53   | 52    |       | Кролевы 1Т-2Т ВН - Кролевы 1Т-2Т о.т.   | 0,75 | 28,45 | 28,9  | 1,000 | -14   | -7    | 75    |
| Тр-р | 52   | 50    |       | Кролевы 1Т-2Т о.т. - Кролевы 1Т-2Т СН   | 0,75 |       |       | 0,318 | -8    | -3    | 41    |
| Тр-р | 52   | 51    |       | Кролевы 1Т-2Т о.т. - Кролевы 1Т-2Т НН   | 0,75 | 17,85 |       | 0,055 | -6    | -3    | 33    |
| ЛЭП  | 53   | 54    |       | Кролевы 1Т-2Т ВН - Отпайка 1 АС-150     | 0,32 | 0,68  | -4,4  |       | 7     | 4     | 40    |
| ЛЭП  | 53   | 55    |       | Кролевы 1Т-2Т ВН - Отпайка 2 АС-150     | 0,32 | 0,68  | -4,4  |       | 7     | 3     | 36    |
| ЛЭП  | 28   | 54    |       | Западная 1Т-2Т ВН - Отпайка 1 АС-150    | 5,43 | 11,51 | -74,0 |       | 28    | 15    | 155   |
| ЛЭП  | 54   | 3     |       | Отпайка 1 АС-150 - АТЭЦ 2Т-4Т ВН        | 1,47 | 3,11  | -20,0 |       | 35    | 18    | 193   |
| Выкл | 2    | 3     |       | АТЭЦ 5Т-6Т ВН - АТЭЦ 2Т-4Т ВН           |      |       |       |       | -121  | 136   | 879   |
| ЛЭП  | 28   | 55    |       | Западная 1Т-2Т ВН - Отпайка 2 АС-150    | 5,43 | 11,51 | -74,0 |       | 28    | 15    | 155   |
| ЛЭП  | 55   | 3     |       | Отпайка 2 АС-150 - АТЭЦ 2Т-4Т ВН        | 1,50 | 3,19  | -20,5 |       | 35    | 18    | 188   |
| ЛЭП  | 28   | 58    |       | Западная 1Т-2Т ВН - Шахта-7 2Т ВН       | 1,47 | 2,39  | -14,8 |       | 32    | 10    | 166   |
| Тр-р | 58   | 59    |       | Шахта-7 2Т ВН - Шахта-7 2Т НН           | 4,38 | 86,70 | 9,3   | 0,055 | -12   | -6    | 68    |
| Тр-р | 56   | 57    |       | Шахта-7 1Т ВН - Шахта-7 1Т НН           | 4,38 | 86,70 | 9,3   | 0,055 | -11   | -6    | 63    |
| Выкл | 58   | 56    |       | Шахта-7 2Т ВН - Шахта-7 1Т ВН           |      |       |       |       | 44    | 16    | 233   |
| ✗    | Выкл | 59    | 57    | Шахта-7 2Т НН - Шахта-7 1Т НН           |      |       |       |       |       |       |       |
| ЛЭП  | 56   | 3     |       | Шахта-7 1Т ВН - АТЭЦ 2Т-4Т ВН           | 3,81 | 6,19  | -37,8 |       | 56    | 22    | 296   |
| ЛЭП  | 25   | 31    |       | Западная 1Т-2Т СН - Заводская 2Т ВН     | 0,36 | 1,15  |       |       | -19   | -10   | 348   |

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ И

Моделирование сети при помощи ПВК RastrWin3

| N_нач | N_кон | Название                               | I_нач | I_кон |
|-------|-------|--|-------|-------|
| 5     | 7     | АТЭЦ 2Т-4Т СН - Мебельная 2Т ВН        | 163   | 163   |
| 9     | 11    | Мебельная 1Т ВН - М-70/АС300           | 134   | 134   |
| 11    | 12    | М-70/АС300 - Трикотажная 2Т ВН         | 134   | 134   |
| 14    | 16    | Трикотажная 1Т ВН - Шахтовая 1Т ВН     |       |       |
| 18    | 20    | Шахтовая 2Т ВН - Артёмовская 1Т ВН     | 474   | 474   |
| 22    | 24    | Артёмовская 2Т ВН - М-70/АС-70         |       |       |
| 24    | 25    | М-70/АС-70 - Западная 1Т-2Т СН         | 1     | 1     |
| 25    | 29    | Западная 1Т-2Т СН - Заводская 1Т ВН    | 50    | 50    |
| 31    | 33    | Заводская 2Т ВН - АС-240/М-70          | 326   | 326   |
| 33    | 34    | АС-240/М-70 - Угловая 1Т ВН            | 326   | 326   |
| 22    | 38    | Артёмовская 2Т ВН - Ключевая 1Т ВН     | 16    | 16    |
| 16    | 5     | Шахтовая 1Т ВН - АТЭЦ 2Т-4Т СН         | 731   | 731   |
| 40    | 42    | Ключевая 2Т ВН - Касатка 1Т ВН         | 14    | 14    |
| 44    | 50    | Касатка 2Т ВН - Кролевцы 1Т-2Т СН      | 73    | 73    |
| 50    | 48    | Кролевцы 1Т-2Т СН - Птицефабрика 2Т ВН |       |       |
| 46    | 5     | Птицефабрика 1Т ВН - АТЭЦ 2Т-4Т СН     | 80    | 80    |
| 53    | 54    | Кролевцы 1Т-2Т ВН - Отпайка 1 АС-150   | 40    | 39    |
| 53    | 55    | Кролевцы 1Т-2Т ВН - Отпайка 2 АС-150   | 36    | 36    |
| 28    | 54    | Западная 1Т-2Т ВН - Отпайка 1 АС-150   | 155   | 153   |
| 54    | 3     | Отпайка 1 АС-150 - АТЭЦ 2Т-4Т ВН       | 193   | 192   |
| 28    | 55    | Западная 1Т-2Т ВН - Отпайка 2 АС-150   | 155   | 153   |
| 55    | 3     | Отпайка 2 АС-150 - АТЭЦ 2Т-4Т ВН       | 188   | 188   |
| 28    | 58    | Западная 1Т-2Т ВН - Шахта-7 2Т ВН      | 166   | 165   |
| 56    | 3     | Шахта-7 1Т ВН - АТЭЦ 2Т-4Т ВН          | 296   | 295   |
| 25    | 31    | Западная 1Т-2Т СН - Заводская 2Т ВН    | 348   | 348   |

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ И  
 Моделирование сети при помощи ПК RastrWin3



Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ И

Моделирование сети при помощи ПК RastrWin3

## Перспективный режим с новой схемой сети:

| Тип  | Номер | Название            | U_ном | N... | P_н  | Q_н  | P_г   | Q_г    | V_зд  | Q_min  | Q_max | В_ш | V      | Delta  |
|------|-------|---------------------|-------|------|------|------|-------|--------|-------|--------|-------|-----|--------|--------|
| Ген- | 1     | АТЭЦ 5Т-6Т НН       | 16    |      |      |      | 180,0 | -100,0 | 16,5  | -100,0 | 180,0 |     | 16,97  | 2,90   |
| Нагр | 2     | АТЭЦ 5Т-6Т ВН       | 110   |      | 58,3 | 23,3 |       |        |       |        |       |     | 119,94 | 0,02   |
| База | 3     | АТЭЦ 2Т-4Т ВН       | 110   |      | 47,7 | 19,1 | 106,0 | 248,3  | 120,0 |        |       |     | 120,00 |        |
| Нагр | 4     | АТЭЦ 2Т-4Т о.т.     | 110   |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 117,78 | -1,89  |
| Нагр | 5     | АТЭЦ 2Т-4Т СН       | 35    |      | 0,3  | 0,1  |       |        |       |        |       |     | 37,45  | -1,87  |
| Нагр | 6     | АТЭЦ 2Т-4Т НН       | 6     |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 6,42   | -1,89  |
| Нагр | 7     | Мебельная 2Т ВН     | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,66  | -3,34  |
| Нагр | 8     | Мебельная 2Т НН     | 6     |      | 0,8  | 0,3  |       |        |       |        |       |     | 6,24   | -4,04  |
| Нагр | 9     | Мебельная 1Т ВН     | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,66  | -3,34  |
| Нагр | 10    | Мебельная 1Т НН     | 6     |      | 0,8  | 0,3  |       |        |       |        |       |     | 6,24   | -4,04  |
| Нагр | 11    | М-70/АС300          | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,64  | -3,42  |
| Нагр | 12    | Трикотажная 2Т ВН   | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,42  | -3,62  |
| Нагр | 13    | Трикотажная 2Т НН   | 6     |      | 7,7  | 3,1  |       |        |       |        |       |     | 6,15   | -5,27  |
| Нагр | 14    | Трикотажная 1Т ВН   | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,42  | -3,63  |
| Нагр | 15    | Трикотажная 1Т НН   | 6     |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 6,15   | -5,27  |
| Нагр | 16    | Шахтовая 1Т ВН      | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,30  | -3,77  |
| Нагр | 17    | Шахтовая 1Т НН      | 6     |      | 7,9  | 3,2  |       |        |       |        |       |     | 6,00   | -7,59  |
| Нагр | 18    | Шахтовая 2Т ВН      | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,22  | -3,86  |
| Нагр | 19    | Шахтовая 2Т НН      | 6     |      | 5,4  | 2,2  |       |        |       |        |       |     | 6,06   | -6,45  |
| Нагр | 20    | Артёмовская 1Т ВН   | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 35,88  | -4,34  |
| Нагр | 21    | Артёмовская 1Т НН   | 6     |      | 11,4 | 4,6  |       |        |       |        |       |     | 5,94   | -8,13  |
| Нагр | 22    | Артёмовская 2Т ВН   | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 35,93  | -4,71  |
| Нагр | 23    | Артёмовская 2Т НН   | 6     |      | 11,4 | 4,6  |       |        |       |        |       |     | 5,95   | -8,49  |
| Нагр | 24    | М-70/АС-70          | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,13  | -4,16  |
| Нагр | 25    | Западная 1Т-2Т СН   | 35    |      | 8,1  | 3,3  |       |        |       |        |       |     | 36,19  | -4,05  |
| Нагр | 26    | Западная 1Т-2Т НН   | 6     |      | 11,9 | 4,8  |       |        |       |        |       |     | 6,19   | -4,43  |
| Нагр | 27    | Западная 1Т-2Т о.т  | 110   |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 113,84 | -4,08  |
| Нагр | 28    | Западная 1Т-2Т ВН   | 110   |      | 44,7 | 17,9 |       |        |       |        |       |     | 116,56 | -1,54  |
| Нагр | 29    | Заводская 1Т ВН     | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,12  | -4,18  |
| Нагр | 30    | Заводская 1Т НН     | 6     |      | 2,8  | 1,1  |       |        |       |        |       |     | 6,09   | -5,95  |
| Нагр | 31    | Заводская 2Т ВН     | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 35,67  | -4,88  |
| Нагр | 32    | Заводская 2Т НН     | 6     |      | 1,2  | 0,6  |       |        |       |        |       |     | 6,07   | -5,67  |
| Нагр | 33    | АС-240/М-70         | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 35,58  | -5,02  |
| Нагр | 34    | Угловая 1Т ВН       | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 34,97  | -5,60  |
| Нагр | 35    | Угловая 1Т НН       | 6     |      | 9,2  | 3,7  |       |        |       |        |       |     | 5,72   | -10,43 |
| Нагр | 36    | Угловая 2Т ВН       | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 34,97  | -5,60  |
| Нагр | 37    | Угловая 2Т НН       | 6     |      | 8,5  | 3,3  |       |        |       |        |       |     | 5,75   | -10,06 |
| Нагр | 38    | Ключевая 1Т ВН      | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,38  | -2,56  |
| Нагр | 39    | Ключевая 1Т НН      | 6     |      | 0,8  | 0,3  |       |        |       |        |       |     | 6,19   | -3,31  |
| Нагр | 40    | Ключевая 2Т ВН      | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,38  | -2,56  |
| Нагр | 41    | Ключевая 2Т НН      | 6     |      | 0,8  | 0,3  |       |        |       |        |       |     | 6,19   | -3,31  |
| Нагр | 42    | Касатка 1Т ВН       | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,46  | -2,54  |
| Нагр | 43    | Касатка 1Т НН       | 6     |      | 1,7  | 0,7  |       |        |       |        |       |     | 6,15   | -4,17  |
| Нагр | 44    | Касатка 2Т ВН       | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 36,46  | -2,54  |
| Нагр | 45    | Касатка 2Т НН       | 6     |      | 1,7  | 0,7  |       |        |       |        |       |     | 6,15   | -4,17  |
| Нагр | 46    | Птицефабрика 1Т ВН  | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 37,14  | -2,05  |
| Нагр | 47    | Птицефабрика 1Т НН  | 6     |      | 2,0  | 0,8  |       |        |       |        |       |     | 6,30   | -3,25  |
| Нагр | 48    | Птицефабрика 2Т ВН  | 35    |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 37,14  | -2,05  |
| Нагр | 49    | Птицефабрика 2Т НН  | 6     |      | 2,6  | 1,0  |       |        |       |        |       |     | 6,28   | -3,59  |
| Нагр | 50    | Кролевцы 1Т-2Т СН   | 35    |      | 3,3  | 1,4  |       |        |       |        |       |     | 37,33  | -2,07  |
| Нагр | 51    | Кролевцы 1Т-2Т НН   | 6     |      | 6,2  | 2,6  |       |        |       |        |       |     | 6,38   | -2,54  |
| Нагр | 52    | Кролевцы 1Т-2Т о.т. | 110   |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 117,36 | -2,09  |
| Нагр | 53    | Кролевцы 1Т-2Т ВН   | 110   |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 119,08 | -0,40  |
| Нагр | 54    | Отпайка 1 АС-150    | 110   |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 119,12 | -0,38  |
| Нагр | 55    | Отпайка 2 АС-150    | 110   |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 119,12 | -0,38  |
| Нагр | 56    | Шахта-7 1Т ВН       | 110   |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 117,32 | -1,21  |
| Нагр | 57    | Шахта-7 1Т НН       | 6     |      | 11,3 | 4,5  |       |        |       |        |       |     | 6,17   | -5,36  |
| Нагр | 58    | Шахта-7 2Т ВН       | 110   |      |      |      |       |        |       |        |       |     | 117,31 | -1,22  |
| Нагр | 59    | Шахта-7 2Т НН       | 6     |      | 12,3 | 4,9  |       |        |       |        |       |     | 6,15   | -5,76  |

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ И

Моделирование сети при помощи ПК RastrWin3

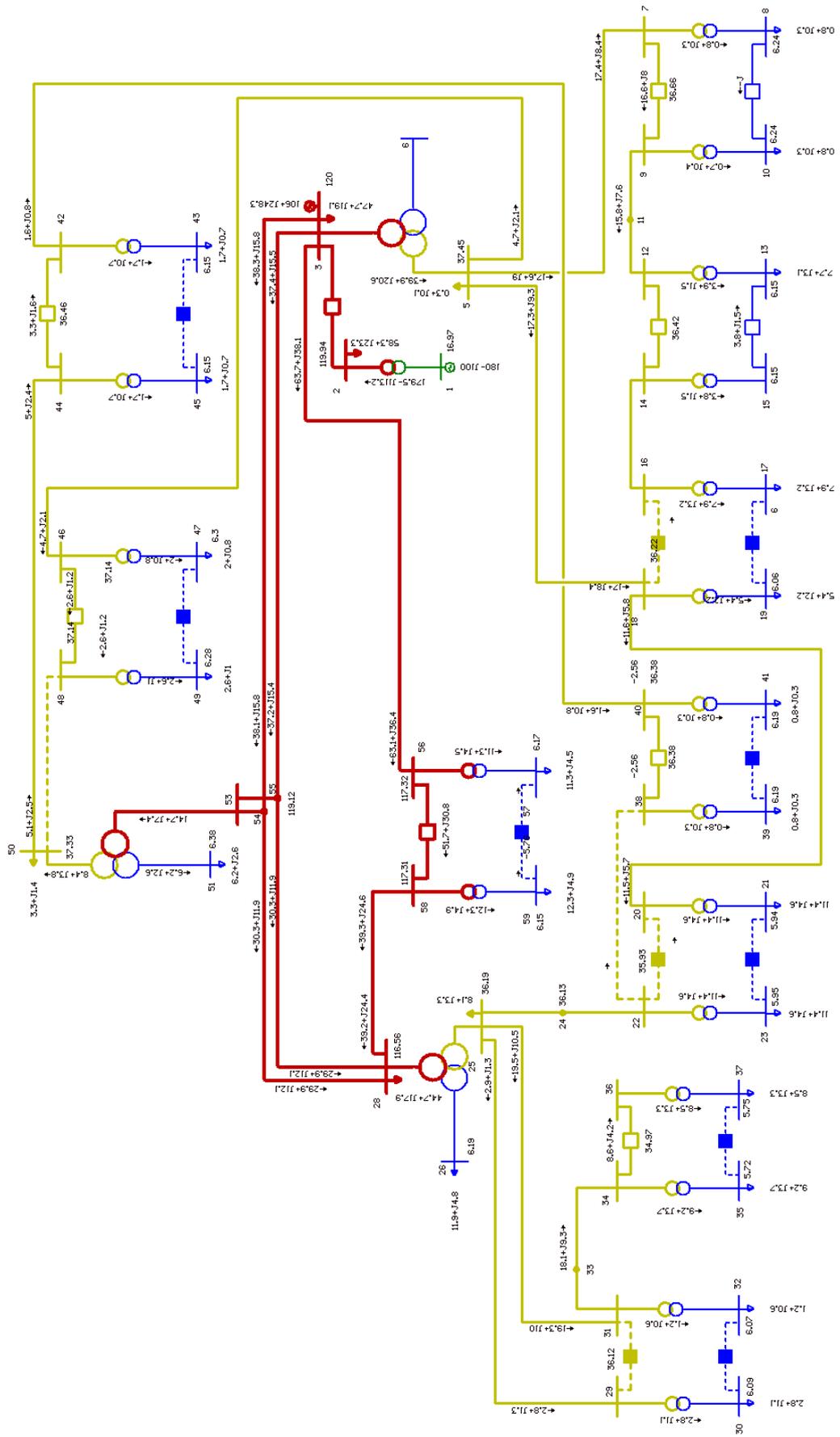
| S | Тип  | N_нач | N_кон | Название                     | R    | X     | B     | Kт/г  | P_нач | Q_нач | I_max |
|---|------|-------|-------|------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | Тр-р | 2     | 1     | АТЭЦ 5Т-6Т ВН - АТЭЦ 5...    | 0,10 | 3,85  | 82,6  | 0,145 | 179   | -113  | 1 021 |
|   | Тр-р | 3     | 4     | АТЭЦ 2Т-4Т ВН - АТЭЦ 2...    | 0,27 | 11,83 | 59,5  | 1,000 | -40   | -23   | 223   |
|   | Тр-р | 4     | 5     | АТЭЦ 2Т-4Т о.т. - АТЭЦ ...   | 0,27 |       |       | 0,318 | -40   | -21   | 220   |
|   | Тр-р | 4     | 6     | АТЭЦ 2Т-4Т о.т. - АТЭЦ ...   | 0,27 | 7,43  |       | 0,055 | 0     | 0     | 0     |
|   | ЛЭП  | 5     | 7     | АТЭЦ 2Т-4Т СН - Мебель...    | 0,52 | 2,27  |       |       | -18   | -9    | 305   |
|   | Тр-р | 7     | 8     | Мебельная 2Т ВН - Мебе...    | 4,43 | 21,06 | 49,0  | 0,171 | -1    | 0     | 15    |
|   | Выкл | 7     | 9     | Мебельная 2Т ВН - Мебе...    |      |       |       |       | -17   | -8    | 290   |
|   | Тр-р | 9     | 10    | Мебельная 1Т ВН - Мебе...    | 2,60 | 23,00 | 32,7  | 0,171 | -1    | 0     | 14    |
|   | Выкл | 8     | 10    | Мебельная 2Т ВН - Мебе...    |      |       |       |       | 0     | 0     | 5     |
|   | ЛЭП  | 9     | 11    | Мебельная 1Т ВН - М-70/...   | 0,00 | 0,11  |       |       | -16   | -8    | 276   |
|   | ЛЭП  | 11    | 12    | М-70/АС300 - Трикотажн...    | 0,29 | 0,44  |       |       | -16   | -8    | 276   |
|   | Тр-р | 12    | 13    | Трикотажная 2Т ВН - Три...   | 0,88 | 10,10 | 65,3  | 0,171 | -4    | -2    | 67    |
|   | Тр-р | 14    | 15    | Трикотажная 1Т ВН - Три...   | 0,88 | 10,10 | 65,3  | 0,171 | -4    | -2    | 67    |
|   | Выкл | 12    | 14    | Трикотажная 2Т ВН - Три...   |      |       |       |       | -12   | -6    | 209   |
|   | Выкл | 15    | 13    | Трикотажная 1Т ВН - Три...   |      |       |       |       | -4    | -2    | 388   |
|   | ЛЭП  | 14    | 16    | Трикотажная 1Т ВН - Ша...    | 0,29 | 0,55  |       |       | -8    | -4    | 141   |
|   | Тр-р | 16    | 17    | Шахтовая 1Т ВН - Шахто...    | 0,96 | 11,10 | 65,3  | 0,171 | -8    | -4    | 141   |
|   | Тр-р | 18    | 19    | Шахтовая 2Т ВН - Шахто...    | 0,96 | 11,10 | 65,3  | 0,171 | -5    | -3    | 96    |
| ✗ | Выкл | 19    | 17    | Шахтовая 2Т ВН - Шахто...    |      |       |       |       |       |       |       |
| ✗ | Выкл | 18    | 16    | Шахтовая 2Т ВН - Шахто...    |      |       |       |       |       |       |       |
|   | ЛЭП  | 18    | 20    | Шахтовая 2Т ВН - Артём...    | 0,46 | 1,18  |       |       | -12   | -6    | 207   |
|   | Тр-р | 20    | 21    | Артёмовская 1Т ВН - Арт...   | 0,52 | 7,40  | 78,4  | 0,171 | -12   | -6    | 207   |
|   | Тр-р | 22    | 23    | Артёмовская 2Т ВН - Арт...   | 0,52 | 7,40  | 78,4  | 0,171 | -12   | -6    | 206   |
| ✗ | Выкл | 22    | 20    | Артёмовская 2Т ВН - Арт...   |      |       |       |       |       |       |       |
| ✗ | Выкл | 23    | 21    | Артёмовская 2Т ВН - Арт...   |      |       |       |       |       |       |       |
|   | ЛЭП  | 22    | 24    | Артёмовская 2Т ВН - М-7...   | 0,07 | 1,12  |       |       | 12    | 6     | 206   |
|   | ЛЭП  | 24    | 25    | М-70/АС-70 - Западная 1...   | 0,07 | 0,25  |       |       | 12    | 6     | 206   |
|   | Тр-р | 28    | 27    | Западная 1Т-2Т ВН - Зап...   | 0,25 | 11,00 | 145,8 | 1,000 | -54   | -31   | 309   |
|   | Тр-р | 27    | 26    | Западная 1Т-2Т о.т. - Зап... | 0,25 | 6,80  |       | 0,055 | -12   | -5    | 65    |
|   | Тр-р | 27    | 25    | Западная 1Т-2Т о.т. - Зап... | 0,25 |       |       | 0,318 | -42   | -21   | 238   |
|   | ЛЭП  | 25    | 29    | Западная 1Т-2Т СН - Зав...   | 0,36 | 1,15  |       |       | -3    | -1    | 50    |
|   | Тр-р | 29    | 30    | Заводская 1Т ВН - Завод...   | 1,40 | 14,60 | 46,3  | 0,171 | -3    | -1    | 50    |
|   | Тр-р | 31    | 32    | Заводская 2Т ВН - Завод...   | 1,40 | 14,60 | 46,3  | 0,171 | -1    | -1    | 23    |
| ✗ | Выкл | 30    | 32    | Заводская 1Т ВН - Завод...   |      |       |       |       |       |       |       |
| ✗ | Выкл | 29    | 31    | Заводская 1Т ВН - Завод...   |      |       |       |       |       |       |       |
|   | ЛЭП  | 31    | 33    | Заводская 2Т ВН - АС-24...   | 0,06 | 0,21  |       |       | -18   | -9    | 330   |
|   | ЛЭП  | 33    | 34    | АС-240/М-70 - Угловая 1...   | 0,68 | 1,04  |       |       | -18   | -9    | 330   |
|   | Тр-р | 34    | 35    | Угловая 1Т ВН - Угловая...   | 0,96 | 11,10 | 65,3  | 0,171 | -9    | -5    | 172   |
|   | Тр-р | 36    | 37    | Угловая 2Т ВН - Угловая...   | 0,96 | 11,10 | 65,3  | 0,171 | -9    | -4    | 157   |
|   | Выкл | 34    | 36    | Угловая 1Т ВН - Угловая...   |      |       |       |       | -9    | -4    | 157   |
| ✗ | Выкл | 35    | 37    | Угловая 1Т ВН - Угловая...   |      |       |       |       |       |       |       |
| ✗ | ЛЭП  | 22    | 38    | Артёмовская 2Т ВН - Кл...    | 2,65 | 1,76  |       |       |       |       |       |
|   | Тр-р | 38    | 39    | Ключевая 1Т ВН - Ключе...    | 2,60 | 23,00 | 32,7  | 0,171 | -1    | 0     | 14    |
|   | Тр-р | 40    | 41    | Ключевая 2Т ВН - Ключе...    | 2,60 | 23,00 | 32,7  | 0,171 | -1    | 0     | 14    |
| ✗ | Выкл | 41    | 39    | Ключевая 2Т ВН - Ключ...     |      |       |       |       |       |       |       |
|   | Выкл | 38    | 40    | Ключевая 1Т ВН - Ключе...    |      |       |       |       | 1     | 0     | 14    |
|   | ЛЭП  | 18    | 5     | Шахтовая 2Т ВН - АТЭЦ ...    | 0,96 | 3,24  |       |       | 17    | 8     | 303   |
|   | ЛЭП  | 40    | 42    | Ключевая 2Т ВН - Касат...    | 1,42 | 0,94  |       |       | 2     | 1     | 28    |
|   | Тр-р | 42    | 43    | Касатка 1Т ВН - Касатка...   | 2,60 | 23,00 | 32,7  | 0,171 | -2    | -1    | 30    |
|   | Тр-р | 44    | 45    | Касатка 2Т ВН - Касатка...   | 2,60 | 23,00 | 32,7  | 0,171 | -2    | -1    | 30    |
| ✗ | Выкл | 43    | 45    | Касатка 1Т ВН - Касатка...   |      |       |       |       |       |       |       |
|   | Выкл | 42    | 44    | Касатка 1Т ВН - Касатка...   |      |       |       |       | 3     | 2     | 58    |
|   | ЛЭП  | 44    | 50    | Касатка 2Т ВН - Кролевы...   | 4,28 | 4,20  |       |       | 5     | 2     | 88    |
| ✗ | ЛЭП  | 50    | 48    | Кролевы 1Т-2Т СН - Пт...     | 2,44 | 2,39  |       |       |       |       |       |
|   | Тр-р | 48    | 49    | Птицефабрика 2Т ВН - П...    | 1,40 | 14,60 | 46,3  | 0,171 | -3    | -1    | 45    |
|   | Тр-р | 46    | 47    | Птицефабрика 1Т ВН - П...    | 1,40 | 14,60 | 46,3  | 0,171 | -2    | -1    | 35    |
|   | Выкл | 48    | 46    | Птицефабрика 2Т ВН - П...    |      |       |       |       | 3     | 1     | 45    |
| ✗ | Выкл | 49    | 47    | Птицефабрика 2Т ВН - П...    |      |       |       |       |       |       |       |
|   | ЛЭП  | 46    | 5     | Птицефабрика 1Т ВН - А...    | 1,71 | 1,68  |       |       | 5     | 2     | 79    |
|   | Тр-р | 53    | 52    | Кролевы 1Т-2Т ВН - Кро...    | 0,75 | 28,45 | 28,9  | 1,000 | -15   | -7    | 80    |
|   | Тр-р | 52    | 50    | Кролевы 1Т-2Т о.т. - К...    | 0,75 |       |       | 0,318 | -8    | -4    | 45    |
|   | Тр-р | 52    | 51    | Кролевы 1Т-2Т о.т. - К...    | 0,75 | 17,85 |       | 0,055 | -6    | -3    | 33    |
|   | ЛЭП  | 53    | 54    | Кролевы 1Т-2Т ВН - От...     | 0,32 | 0,68  | -4,4  |       | 8     | 4     | 42    |
|   | ЛЭП  | 53    | 55    | Кролевы 1Т-2Т ВН - От...     | 0,32 | 0,68  | -4,4  |       | 7     | 4     | 38    |
|   | ЛЭП  | 28    | 54    | Западная 1Т-2Т ВН - Отп...   | 5,43 | 11,51 | -74,0 |       | 30    | 12    | 160   |
|   | ЛЭП  | 54    | 3     | Отпайка 1 АС-150 - АТЭ...    | 1,47 | 3,11  | -20,0 |       | 38    | 16    | 200   |
|   | Выкл | 2     | 3     | АТЭЦ 5Т-6Т ВН - АТЭЦ 2...    |      |       |       |       | -121  | 136   | 879   |
|   | ЛЭП  | 28    | 55    | Западная 1Т-2Т ВН - Отп...   | 5,43 | 11,51 | -74,0 |       | 30    | 12    | 160   |
|   | ЛЭП  | 55    | 3     | Отпайка 2 АС-150 - АТЭ...    | 1,50 | 3,19  | -20,5 |       | 37    | 15    | 195   |
|   | ЛЭП  | 28    | 58    | Западная 1Т-2Т ВН - Ша...    | 0,72 | 2,43  | -16,9 |       | 39    | 24    | 229   |
|   | Тр-р | 58    | 59    | Шахта-7 2Т ВН - Шахта...     | 4,38 | 86,70 | 9,3   | 0,055 | -12   | -6    | 68    |
|   | Тр-р | 56    | 57    | Шахта-7 1Т ВН - Шахта...     | 4,38 | 86,70 | 9,3   | 0,055 | -11   | -6    | 63    |
|   | Выкл | 58    | 56    | Шахта-7 2Т ВН - Шахта...     |      |       |       |       | 52    | 31    | 296   |
| ✗ | Выкл | 59    | 57    | Шахта-7 2Т ВН - Шахта...     |      |       |       |       |       |       |       |
|   | ЛЭП  | 56    | 3     | Шахта-7 1Т ВН - АТЭЦ 2...    | 1,68 | 5,67  | -39,3 |       | 63    | 36    | 358   |
|   | ЛЭП  | 25    | 31    | Западная 1Т-2Т СН - Зав...   | 0,36 | 1,15  |       |       | -19   | -10   | 352   |

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ И

Моделирование сети при помощи ПВК RastrWin3

| <b>N_нач</b> | <b>N_кон</b> | <b>Название</b>            | <b>I_нач</b> | <b>I_кон</b> |
|--------------|--------------|----------------------------|--------------|--------------|
| 5            | 7            | АТЭЦ 2Т-4Т СН - Мебель...  | 305          | 305          |
| 9            | 11           | Мебельная 1Т ВН - М-70/... | 276          | 276          |
| 11           | 12           | М-70/АС300 - Трикотаажн... | 276          | 276          |
| 14           | 16           | Трикотаажная 1Т ВН - Ша... | 141          | 141          |
| 18           | 20           | Шахтовая 2Т ВН - Артём...  | 207          | 207          |
| 22           | 24           | Артёмовская 2Т ВН - М-7... | 206          | 206          |
| 24           | 25           | М-70/АС-70 - Западная 1... | 206          | 206          |
| 25           | 29           | Западная 1Т-2Т СН - Зав... | 50           | 50           |
| 31           | 33           | Заводская 2Т ВН - АС-24... | 330          | 330          |
| 33           | 34           | АС-240/М-70 - Угловая 1... | 330          | 330          |
| 22           | 38           | Артёмовская 2Т ВН - Кл...  |              |              |
| 18           | 5            | Шахтовая 2Т ВН - АТЭЦ ...  | 303          | 303          |
| 40           | 42           | Ключевая 2Т ВН - Касат...  | 28           | 28           |
| 44           | 50           | Касатка 2Т ВН - Кролевц... | 88           | 88           |
| 50           | 48           | Кролевцы 1Т-2Т СН - Пт...  |              |              |
| 46           | 5            | Птицефабрика 1Т ВН - А...  | 79           | 79           |
| 53           | 54           | Кролевцы 1Т-2Т ВН - От...  | 42           | 42           |
| 53           | 55           | Кролевцы 1Т-2Т ВН - От...  | 38           | 38           |
| 28           | 54           | Западная 1Т-2Т ВН - Отп... | 160          | 158          |
| 54           | 3            | Отпайка 1 АС-150 - АТЭ...  | 200          | 199          |
| 28           | 55           | Западная 1Т-2Т ВН - Отп... | 160          | 158          |
| 55           | 3            | Отпайка 2 АС-150 - АТЭ...  | 195          | 195          |
| 28           | 58           | Западная 1Т-2Т ВН - Ша...  | 229          | 228          |
| 56           | 3            | Шахта-7 1Т ВН - АТЭЦ 2...  | 358          | 357          |
| 25           | 31           | Западная 1Т-2Т СН - Зав... | 352          | 352          |

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ И  
 Моделирование сети при помощи ПВК RastrWin3



## ПРИЛОЖЕНИЕ К

Расчёт токов КЗ при помощи ПВК RastrWin3

| Тип0 | Номер | Название            | U_ном |
|------|-------|---------------------|-------|
| у    | 1     | АТЭЦ 5Т-6Т НН       | 16    |
| зак  | 2     | АТЭЦ 5Т-6Т ВН       | 110   |
| зак  | 3     | АТЭЦ 2Т-4Т ВН       | 110   |
| зак  | 4     | АТЭЦ 2Т-4Т о.т.     | 110   |
| у    | 5     | АТЭЦ 2Т-4Т СН       | 35    |
| у    | 6     | АТЭЦ 2Т-4Т НН       | 6     |
| у    | 7     | Мебельная 2Т ВН     | 35    |
| у    | 8     | Мебельная 2Т НН     | 6     |
| у    | 9     | Мебельная 1Т ВН     | 35    |
| у    | 10    | Мебельная 1Т НН     | 6     |
| у    | 12    | Трикотажная 2Т ВН   | 35    |
| у    | 13    | Трикотажная 2Т НН   | 6     |
| у    | 14    | Трикотажная 1Т ВН   | 35    |
| у    | 15    | Трикотажная 1Т НН   | 6     |
| у    | 16    | Шахтовая 1Т ВН      | 35    |
| у    | 17    | Шахтовая 1Т НН      | 6     |
| у    | 18    | Шахтовая 2Т ВН      | 35    |
| у    | 19    | Шахтовая 2Т НН      | 6     |
| у    | 20    | Артёмовская 1Т ВН   | 35    |
| у    | 21    | Артёмовская 1Т НН   | 6     |
| у    | 22    | Артёмовская 2Т ВН   | 35    |
| у    | 23    | Артёмовская 2Т НН   | 6     |
| у    | 25    | Западная 1Т-2Т СН   | 35    |
| у    | 26    | Западная 1Т-2Т НН   | 6     |
| зак  | 27    | Западная 1Т-2Т о.т  | 110   |
| зак  | 28    | Западная 1Т-2Т ВН   | 110   |
| у    | 29    | Заводская 1Т ВН     | 35    |
| у    | 30    | Заводская 1Т НН     | 6     |
| у    | 31    | Заводская 2Т ВН     | 35    |
| у    | 32    | Заводская 2Т НН     | 6     |
| у    | 34    | Угловая 1Т ВН       | 35    |
| у    | 35    | Угловая 1Т НН       | 6     |
| у    | 36    | Угловая 2Т ВН       | 35    |
| у    | 37    | Угловая 2Т НН       | 6     |
| у    | 38    | Ключевая 1Т ВН      | 35    |
| у    | 39    | Ключевая 1Т НН      | 6     |
| у    | 40    | Ключевая 2Т ВН      | 35    |
| у    | 41    | Ключевая 2Т НН      | 6     |
| у    | 42    | Касатка 1Т ВН       | 35    |
| у    | 43    | Касатка 1Т НН       | 6     |
| у    | 44    | Касатка 2Т ВН       | 35    |
| у    | 45    | Касатка 2Т НН       | 6     |
| у    | 46    | Птицефабрика 1Т ВН  | 35    |
| у    | 47    | Птицефабрика 1Т НН  | 6     |
| у    | 48    | Птицефабрика 2Т ВН  | 35    |
| у    | 49    | Птицефабрика 2Т НН  | 6     |
| зак  | 50    | Кролевцы 1Т-2Т СН   | 35    |
| у    | 51    | Кролевцы 1Т-2Т НН   | 6     |
| зак  | 52    | Кролевцы 1Т-2Т о.т. | 110   |
| зак  | 53    | Кролевцы 1Т-2Т ВН   | 110   |
| зак  | 54    | Отпайка 1 АС-150    | 110   |
| зак  | 55    | Отпайка 2 АС-150    | 110   |
| зак  | 56    | Шахта-7 1Т ВН       | 110   |
| у    | 57    | Шахта-7 1Т НН       | 6     |
| зак  | 58    | Шахта-7 2Т ВН       | 110   |
| у    | 59    | Шахта-7 2Т НН       | 6     |

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ К  
Расчёт токов КЗ при помощи ПВК RastrWin3

| S | Тип  | тип0 | N_нач | N_кон | Название                    | X     | Kт/r  | x0     |
|---|------|------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|--------|
|   | Тр-р | Тр-р | 2     | 1     | АТЭЦ 5Т-6Т ВН - АТЭЦ 5...   | 3,85  | 0,145 |        |
|   | Выкл | Выкл | 2     | 3     | АТЭЦ 5Т-6Т ВН - АТЭЦ 2...   |       |       |        |
|   | Тр-р | Тр-р | 3     | 4     | АТЭЦ 2Т-4Т ВН - АТЭЦ 2...   | 11,83 | 1,000 | 3,850  |
|   | Тр-р | Тр-р | 4     | 5     | АТЭЦ 2Т-4Т о.т. - АТЭЦ ...  |       | 0,318 |        |
|   | Тр-р | Тр-р | 4     | 6     | АТЭЦ 2Т-4Т о.т. - АТЭЦ ...  | 7,43  | 0,055 | 7,430  |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 5     | 7     | АТЭЦ 2Т-4Т СН - Мебель...   | 2,27  |       | 6,710  |
|   | Тр-р | Тр-р | 7     | 8     | Мебельная 2Т ВН - Мебе...   | 21,06 | 0,171 | 21,060 |
|   | Выкл | Выкл | 7     | 9     | Мебельная 2Т ВН - Мебе...   |       |       |        |
| ✘ | Выкл | Выкл | 8     | 10    | Мебельная 2Т НН - Мебе...   |       |       |        |
|   | Тр-р | Тр-р | 9     | 10    | Мебельная 1Т ВН - Мебе...   | 23,00 | 0,171 | 23,000 |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 9     | 12    | Мебельная 1Т ВН - Трико...  | 0,55  |       | 1,650  |
|   | Тр-р | Тр-р | 12    | 13    | Трикотажная 2Т ВН - Три...  | 10,10 | 0,171 | 10,100 |
|   | Выкл | Выкл | 12    | 14    | Трикотажная 2Т ВН - Три...  |       |       |        |
|   | Тр-р | Тр-р | 14    | 15    | Трикотажная 1Т ВН - Три...  | 10,10 | 0,171 | 10,100 |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 14    | 16    | Трикотажная 1Т ВН - Ша...   | 0,55  |       | 1,650  |
| ✘ | Выкл | Выкл | 15    | 13    | Трикотажная 1Т НН - Три...  |       |       |        |
|   | Тр-р | Тр-р | 16    | 17    | Шахтовая 1Т ВН - Шахто...   | 11,10 | 0,171 | 11,100 |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 18    | 5     | Шахтовая 2Т ВН - АТЭЦ ...   | 3,24  |       | 9,720  |
|   | Тр-р | Тр-р | 18    | 19    | Шахтовая 2Т ВН - Шахто...   | 11,10 | 0,171 | 11,100 |
| ✘ | Выкл | Выкл | 18    | 16    | Шахтовая 2Т ВН - Шахто...   |       |       |        |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 18    | 20    | Шахтовая 2Т ВН - Артём...   | 1,18  |       | 3,540  |
| ✘ | Выкл | Выкл | 19    | 17    | Шахтовая 2Т НН - Шахт...    |       |       |        |
|   | Тр-р | Тр-р | 20    | 21    | Артёмовская 1Т ВН - Арт...  | 7,40  | 0,171 | 7,400  |
|   | Тр-р | Тр-р | 22    | 23    | Артёмовская 2Т ВН - Арт...  | 7,40  | 0,171 | 7,400  |
| ✘ | Выкл | Выкл | 22    | 20    | Артёмовская 2Т ВН - Арт...  |       |       |        |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 22    | 25    | Артёмовская 2Т ВН - Зап...  | 1,37  |       | 2,110  |
| ✘ | ЛЭП  | ЛЭП  | 22    | 38    | Артёмовская 2Т ВН - Кл...   | 1,76  |       | 5,280  |
| ✘ | Выкл | Выкл | 23    | 21    | Артёмовская 2Т НН - Арт...  |       |       |        |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 25    | 29    | Западная 1Т-2Т СН - Зап...  | 1,15  |       | 3,450  |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 25    | 31    | Западная 1Т-2Т СН - Зап...  | 1,15  |       | 3,450  |
|   | Тр-р | Тр-р | 27    | 26    | Западная 1Т-2Т о.т - Зап... | 6,80  | 0,055 | 6,800  |
|   | Тр-р | Тр-р | 27    | 25    | Западная 1Т-2Т о.т - Зап... |       | 0,318 |        |
|   | Тр-р | Тр-р | 28    | 27    | Западная 1Т-2Т ВН - Зап...  | 11,00 | 1,000 | 11,000 |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 28    | 54    | Западная 1Т-2Т ВН - Отп...  | 11,51 |       | 34,530 |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 28    | 55    | Западная 1Т-2Т ВН - Отп...  | 11,51 |       | 34,530 |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 28    | 58    | Западная 1Т-2Т ВН - Ша...   | 2,43  |       | 7,290  |
|   | Тр-р | Тр-р | 29    | 30    | Заводская 1Т ВН - Завод...  | 14,60 | 0,171 | 14,600 |
|   | Выкл | Выкл | 29    | 31    | Заводская 1Т ВН - Завод...  |       |       |        |
| ✘ | Выкл | Выкл | 30    | 32    | Заводская 1Т НН - Завод...  |       |       |        |
|   | Тр-р | Тр-р | 31    | 32    | Заводская 2Т ВН - Завод...  | 14,60 | 0,171 | 14,600 |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 31    | 34    | Заводская 2Т ВН - Углов...  | 1,25  |       | 3,750  |
|   | Тр-р | Тр-р | 34    | 35    | Угловая 1Т ВН - Угловая...  | 11,10 | 0,171 | 11,100 |
|   | Выкл | Выкл | 34    | 36    | Угловая 1Т ВН - Угловая...  |       |       |        |
| ✘ | Выкл | Выкл | 35    | 37    | Угловая 1Т НН - Угловая...  |       |       |        |
|   | Тр-р | Тр-р | 36    | 37    | Угловая 2Т ВН - Угловая...  | 11,10 | 0,171 | 11,100 |
|   | Тр-р | Тр-р | 38    | 39    | Ключевая 1Т ВН - Ключе...   | 23,00 | 0,171 | 23,000 |
|   | Выкл | Выкл | 38    | 40    | Ключевая 1Т ВН - Ключе...   |       |       |        |
|   | Тр-р | Тр-р | 40    | 41    | Ключевая 2Т ВН - Ключе...   | 23,00 | 0,171 | 23,000 |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 40    | 42    | Ключевая 2Т ВН - Касат...   | 0,94  |       | 2,820  |
| ✘ | Выкл | Выкл | 41    | 39    | Ключевая 2Т НН - Ключ...    |       |       |        |
|   | Тр-р | Тр-р | 42    | 43    | Касатка 1Т ВН - Касатка...  | 23,00 | 0,171 |        |
|   | Выкл | Выкл | 42    | 44    | Касатка 1Т ВН - Касатка...  |       |       |        |
| ✘ | Выкл | Выкл | 43    | 45    | Касатка 1Т НН - Касатка...  |       |       |        |
|   | Тр-р | Тр-р | 44    | 45    | Касатка 2Т ВН - Касатка...  | 23,00 | 0,171 |        |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 44    | 50    | Касатка 2Т ВН - Кролевец... | 4,20  |       | 12,600 |
|   | Тр-р | Тр-р | 46    | 47    | Птицефабрика 1Т ВН - П...   | 14,60 | 0,171 |        |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 46    | 5     | Птицефабрика 1Т ВН - А...   | 1,68  |       | 5,040  |
|   | Тр-р | Тр-р | 48    | 49    | Птицефабрика 2Т ВН - П...   | 14,60 | 0,171 |        |
|   | Выкл | Выкл | 48    | 46    | Птицефабрика 2Т ВН - П...   |       |       |        |
| ✘ | Выкл | Выкл | 49    | 47    | Птицефабрика 2Т НН - П...   |       |       |        |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 50    | 48    | Кролевец 1Т-2Т СН - Пт...   | 2,39  |       | 7,170  |
|   | Тр-р | Тр-р | 52    | 50    | Кролевец 1Т-2Т о.т. - К...  |       | 0,318 |        |
|   | Тр-р | Тр-р | 52    | 51    | Кролевец 1Т-2Т о.т. - К...  | 17,85 | 0,055 |        |
|   | Тр-р | Тр-р | 53    | 52    | Кролевец 1Т-2Т ВН - Кро...  | 28,45 | 1,000 |        |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 53    | 54    | Кролевец 1Т-2Т ВН - От...   | 0,68  |       | 2,040  |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 53    | 55    | Кролевец 1Т-2Т ВН - От...   | 0,68  |       | 2,040  |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 54    | 3     | Отпайка 1 АС-150 - АТЭ...   | 3,11  |       | 9,330  |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 55    | 3     | Отпайка 2 АС-150 - АТЭ...   | 3,19  |       | 9,570  |
|   | Тр-р | Тр-р | 56    | 57    | Шахта-7 1Т ВН - Шахта-...   | 86,70 | 0,055 |        |
|   | ЛЭП  | ЛЭП  | 56    | 3     | Шахта-7 1Т ВН - АТЭЦ 2...   | 5,67  |       | 17,010 |
|   | Тр-р | Тр-р | 58    | 59    | Шахта-7 2Т ВН - Шахта-...   | 86,70 | 0,055 |        |
|   | Выкл | Выкл | 58    | 56    | Шахта-7 2Т ВН - Шахта-...   |       |       |        |
| ✘ | Выкл | Выкл | 59    | 57    | Шахта-7 2Т НН - Шахта-...   |       |       |        |

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ К  
Расчёт токов КЗ при помощи ППК RastrWin3

| N | Название | N узла | x     | X2   | E       |
|---|----------|--------|-------|------|---------|
| 1 | АТЭЦ     | 1      | 4,775 | 4,78 | 16,000  |
| 2 | Система  | 2      | 6,050 | 6,05 | 110,000 |