

Министерство науки и высшего образования 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) образовательной программы Электроэнергетика

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
_____ Н.В. Савина
« _____ » _____ 2022 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Реконструкция системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Лохвицы Белогорского района Амурской области

Исполнитель
студент группы 842узб

подпись, дата

С.К.-о Джабраилов

Руководитель
доцент, канд.техн.наук

подпись, дата

А.Н. Козлов

Консультант по
безопасности и
экологичности
доцент, канд.техн.наук

подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль
ст. преподаватель

подпись, дата

Л.А. Мясоедова

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

Факультет энергетический
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

_____ Н.В. Савина
« _____ » _____ 20__ г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента С.К.-о Джабраилов

1. Тема выпускной квалификационной работы: Реконструкция системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Лохвицы Белогорского района Амурской области

(утверждена приказом от ____ . ____ .2022г. № _____)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) _____

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: поопорная схема 0,4 кВ села Лохвицы, поопорная схема 10 кВ села Лохвицы, однолинейная схема ПС Лохвицы, контрольный замер Белогорского РЭС Амурских электрических сетей декабрь 2021 года.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): характеристика района электроснабжения, расчёт электрических нагрузок сети 0,4 кВ, выбор и проверка проводников в сети низкого напряжения, расчёт электрических нагрузок сети 10 кВ, выбор и проверка проводников в сети высокого напряжения, расчёт электрических нагрузок на шинах питающей подстанции, расчет токов короткого замыкания, выбор и проверка оборудования, компенсация емкостных токов замыкания на землю, релейная защита и автоматика, заземляющее устройство трансформаторной подстанции, безопасность и экологичность.

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): план села с линиями 0,4 кВ, реконструкция сети 10 кВ по вариантам №1-2, однолинейная схема сети 10 кВ, токи короткого замыкания в сети 10 и 0,4 кВ, однолинейная схема ПС «Лохвицы», микропроцессорная защита линии 10 кВ

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов): Безопасность и экологичность – Булгаков А.Б.

7. Дата выдачи задания _____
Руководитель выпускной квалификационной работы: _____

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

Задание принял к исполнению (дата): _____

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 107 с, 9 рисунков, 37 таблиц, 39 источников.

ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, РАСЧЁТНАЯ НАГРУЗКА, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ, КАТЕГОРИЙНОСТЬ ПОТРЕБИТЕЛЯ ПО НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, НАГРУЗКА ОСВЕЩЕНИЯ, УЧЁТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, СРОК ОКУПАЕМОСТИ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ.

В сельскохозяйственном районе, включающем село Лохвицы отмечается высокая величина потерь электроэнергии. Целью данного проекта является замена устаревшего оборудование сетей 0,4-10 кВ на новое по снижению потерь электроэнергии в выбранном районе. В результате расчётов получены параметры системы электроснабжения 0,4 – 10 кВ села Лохвицы.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Характеристика района электроснабжения	9
2 Расчёт электрических нагрузок сети 0,4 кВ	12
2.1 Расчёт нагрузок сельских жилых домов	12
2.2 Расчёт нагрузок производственных, общественных, коммунальных предприятий, зданий и сооружений	13
2.3 Расчёт нагрузки уличного освещения	14
2.4 Расчёт электрических нагрузок на шинах 0,4 кВ трансформаторов 10/0,4 кВ	14
3 Выбор и проверка проводников в сети низкого напряжения	17
4 Расчёт электрических нагрузок сети 10 кВ	23
4.1 Потери мощности в трансформаторах	23
4.2 Выбор трансформаторов 10/0,4 кВ	25
4.3 Нагрузки на высокой стороне трансформаторов 10/0,4 кВ	28
5 Выбор и проверка проводников в сети высокого напряжения	29
5.1 Выбор схемы и сечений распределительной сети 10 кВ	29
5.2 Техникоэкономическое сравнение вариантов сети 10 кВ	33
6 Расчёт электрических нагрузок на шинах питающей подстанции	35
6.1 Расчётная нагрузка на шинах 10 кВ подстанции «Лохвицы»	35
6.2 Компенсация реактивной мощности на шинах 10 кВ подстанции «Лохвицы»	36
7 Расчет токов короткого замыкания	38
7.1 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ	38
7.2 Проверка линий 10 кВ на воздействие токов короткого замыкания	41
7.3 Расчет токов короткого замыкания в сети 0.4 кВ	43
7.4 Расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ подстанции «Лохвицы»	49

8 Выбор и проверка оборудования	54
8.1 Выбор и проверка оборудования 0,4 кВ	54
8.1.1 Выбор и проверка автоматических выключателей для защиты линий 0,4 кВ	54
8.1.2 Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ для защиты шин 0,4 кВ трансформаторных подстанций	56
8.2 Выбор и проверка оборудования 10 кВ	58
8.2.1 Выбор предохранителей для защиты трансформаторов 10/0,4 кВ	58
8.2.2 Выбор трансформаторов тока	59
8.2.3 Выбор трансформатора напряжения	63
8.2.4 Выбор выключателей нагрузки	65
8.2.5 Выбор комплектного распределительного устройства	67
8.2.6 Выбор выключателей	69
8.2.7 Выбор жестких шин	72
8.2.8 Выбор изоляторов	75
8.2.9 Выбор ограничителей перенапряжения	77
9 Компенсация емкостных токов замыкания на землю	79
10 Релейная защита и автоматика	80
10.1 Токовая отсечка	80
10.2 Максимальная токовая защита линий	82
10.3 Защита от однофазных замыканий на землю	83
10.4 Устройства автоматического включения резерва	85
10.5 Уставки срабатывания защит	85
11 Заземляющее устройство трансформаторной подстанции	86
12 Безопасность и экологичность	90
12.1 Безопасность	90
12.2 Экологичность	95
12.3 Чрезвычайные ситуации	98
Заключение	103
Библиографический список	104

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АВР – автоматическое включение резерва;

АО - акционерное общество;

ВЛ - воздушная линия;

ВН – высокое напряжение;

КЗ – короткое замыкание;

КЛ - кабельная линия;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

ЛЭП – линия электропередачи;

РЗ - релейная защита;

МТЗ – максимальная токовая защита;

НН – низкое напряжение;

ПС – подстанция;

РЭС – район энергоснабжения;

СИП – самонесущий изолированный провод;

ТП – трансформаторная подстанция;

ТО – токовая отсечка.

ВВЕДЕНИЕ

На эффективность функционирования электрических сетей в сельских населенных пунктах существенным образом влияет техническое оснащение воздушных линий и трансформаторных подстанций. Основной объём хищений электроэнергии приходится на частный сектор, где затруднен контроль за состоянием электрических сетей ввиду ограниченности персонала обслуживающих распределительных сетевых компаний.

В условиях современной оснащённости потребителей различными бытовыми энергопринимающими устройствами существенно увеличивается нагрузка на существующие распределительные электрические сети и трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ.

Дополнительные возможности для хищения электроэнергии имеются на тех участках сетей, где использованы провода марки А и АС, без изоляционного слоя, который является препятствием для незаконного подключения к линии. Хищения электроэнергии путём подключения к электрической сети 0,4 кВ посредством набросов на провода или прокладывание скрытой проводки создают дополнительную нагрузку на линии распределительных сетей и трансформаторы 10/0,4 кВ, так как пропускная способность линий 0,4 кВ и мощность трансформаторов 10/0,4 кВ подбираются в соответствии с потребляемой и наблюдаемой нагрузкой, в том числе по результатам контрольных замеров летнего минимума и зимнего максимума нагрузки.

Фактическое техническое состояние сетей 0,4-10 кВ села Лохвицы и их изношенность обуславливает необходимость проведения реконструкции.

Актуальность проекта: в связи с изношенностью оборудования и сетей 0,4-10 кВ села Лохвицы в системе электроснабжения данных сёл отмечается большой уровень потерь электроэнергии.

Цель работы - провести реконструкцию и определить технические показатели электрических сетей напряжением 0,4 – 10 кВ села Лохвицы Белогорского района Амурской области.

Достижение цели выполняемой работы происходит за счёт постановки и решения задач работы:

1. Поиск величины и сопоставления уровня потерь электроэнергии по рассматриваемому участку сетей 10-0,4 кВ села Лохвицы;
2. Расчёт нагрузки линий 0,4 кВ в соответствии с нормативной документацией, выбор и проверка проводов марки СИП для сетей 0,4 – 10 кВ;
3. Расчёт нагрузки трансформаторов ТП 10/0,4 кВ и выработка предложений по реконструкции ТП;
4. Применение оптимальной схемы электроснабжения 10 кВ села Лохвицы с точки зрения затрат и надёжности электроснабжения;
5. Установка комплектов микропроцессорных защит для оперативного и точного отключения повреждений на воздушных линиях 10 кВ;
6. Описание мер безопасности при монтаже сетей и оборудования реконструируемого района, расчёт площади отводимых земель в постоянное и временное пользование, приведение мер пожарной безопасности при реконструкции сетей 10-0,4 кВ села Лохвицы.

Новизна выполняемой работы – предлагаемые технические мероприятия повышения надёжности электрических сетей села Лохвицы и снижения воровства электроэнергии.

Ожидаемые результаты работы – надёжное и бесперебойное электроснабжение потребителей села Лохвицы после предлагаемого объёма работ по реконструкции сетей 10-0,4 кВ села.

Практическая применимость проекта – в результате расчётов получены параметры системы электроснабжения 0,4 – 10 кВ села Лохвицы на основе полностью импортозамещаемых материалов и компонентов.

Оформление работы осуществлено в программной среде Microsoft Office под операционной системой Windows 10. Все расчётные выкладки сделаны в табличном и графическом виде, текст работы проверен в системе «Антиплагиат-ВУЗ» и соответствует требованиям оригинальности, установленным для данной бакалаврской работы.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Так как село Лохвицы находится в Белогорском районе, а характеристика отдельного села отсутствует, то приводится характеристика всего Белогорского района в целом, согласно паспорту района, [26].

В структуре промышленного производства доминирующее положение занимают обрабатывающие производства, на долю которых приходится 74,1 % общего объема производства. Обрабатывающие производства представлены такими отраслями, как машиностроение, производство кирпича, производство пищевых продуктов.

Агропромышленный комплекс сельхоз района является важнейшей сферой деятельности. Природно-климатические условия района благоприятны для ведения сельскохозяйственного производства. Они позволяют успешно развивать многоотраслевое сельское хозяйство, производить высококачественные, экологически чистые продукты питания и сырье для перерабатывающей промышленности.

Имеющиеся в Белогорском районе земельные ресурсы позволяют в полном объеме обеспечивать потребности населения в растениеводческой и животноводческой продукции, а также вывозить часть производимой продукции за пределы района.

Сельскохозяйственным производством в районе заняты 9 сельскохозяйственных организаций, 61 крестьянских (фермерских) хозяйства и 5311 личных подсобных хозяйств.

Основной деятельностью предприятий является производство продукции растениеводства и животноводства.

По состоянию на 01.01.2021 года в районе зарегистрировано 337 субъектов малого предпринимательства:

- 285 - индивидуальных предпринимателей;
- 52 – малых предприятия.

Климат района резко континентальный. Температура воздуха самого холодного месяца колеблется от -17 до -42 градусов в январе, самого теплого до +35градусов в июле. Среднегодовая сумма осадков 727,6 мм. Летом 621,1 мм, зимой покров снега достигает 110 мм.

Основные направления ветра:

- зимой - северный со скоростью 1 м/сек;
- весной - юго-восточный со скоростью 2 м/сек;
- летом - южный со скоростью 2 м/сек.

Период выпадения наибольшего количества осадков и таяние снегов в горной местности в июле, августе приводит к наводнению.

Графически расположение населенных пунктов показано на рисунке 1, характеристика потребителей села Лохвицы дана в таблице 1.



Рисунок 1 - Амурская область, Белогорский район

Таблица 1 – Характеристика потребителей села Лохвицы

Количество абонентов всего	371
В том числе жилые дома/квартиры	301
В том числе коммунально-бытовые потребители	67
В том числе производственные потребители	3
Ввод потребителям 1ф (по имеющимся данным)	36
Ввод потребителям 3ф(по имеющимся данным)	33

Оценим величину нормативных (технологических) и сверхнормативных (разность фактических и нормативных) потерь электроэнергии по фидерам 10 кВ ПС «Лохвицы» за 2020-2021 год [6]. Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Динамика потерь за 2020-2021 год,

№ фидера	2020-2021 год		
	Всего	Технологические	Сверхнормативные
Ф-5	40.00%	9.00%	31.00%
Ф-7	50.00%	12.00%	38.00%
Ф-8	47.42%	4.86%	42.56%
Ф-9	36.85%	11.91%	24.94%

Из таблицы 2 видно, что технологические потери в сети составляют в среднем 9%, сверхнормативные – 34%, фактические – 47%.

Повышенный уровень технологических потерь электроэнергии связан с:

- изношенностью сетей и оборудования,
- неэффективными режимами работы сети,
- малой загрузкой трансформаторов 10/0,4 кВ.

По [3] величина обоснованного уровня технологических потерь находится в пределах 8-10%.

Высокий уровень сверхнормативных потерь связан с:

- бездоговорным потреблением (набросы),
- безучётным потреблением (вмешательство в работу прибора учёта)
- неодновременностью снятия показаний счётчиков электроэнергии,
- неплатежами за электроэнергию.

2 РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК СЕТИ 0,4 КВ

2.1 Расчёт нагрузок сельских жилых домов

Используется методика [17], которая позволяет разделить дневной и вечерний максимум нагрузки потребителей сельских жилых домов.

Демонстрация примера нахождения искомых данных о расчётной активной нагрузке на вводе в жилой двухквартирный дом обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$P_P = P_{P_{\text{уд}}} \cdot n ; \quad (1)$$

$$P_P = 6 \cdot 2 = 12 \text{ кВт};$$

где $P_{P_{\text{уд}}}$ - удельная нагрузка для одной квартиры двухквартирного дома;

n - количество квартир, 2;

Демонстрация примера нахождения искомых данных о полной нагрузке на вводе в жилой двухквартирный дом обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$S_B = \frac{K_{\text{вб}} \cdot P_P}{\cos \varphi_B} ; \quad (2)$$

$$S_B = 1 \cdot 12 / 0,97 = 12,4 \text{ кВА};$$

$$S_D = \frac{K_{\text{вд}} \cdot P_P}{\cos \varphi_D} , \quad (3)$$

$$S_D = 0,5 \cdot 12 / 0,97 = 6,2 \text{ кВА};$$

где $K_{yд}$ - коэффициент участия в дневном максимуме нагрузки двухквартирного дома, 1;

$K_{yв}$ - коэффициент участия в вечернем максимуме нагрузки двухквартирного дома, 0,5;

$\cos \varphi_d$ - коэффициент мощности нагрузки дневного максимума, 0,97 [17];

$\cos \varphi_B$ - коэффициент мощности нагрузки вечернего максимума, 0,97 [17].

Искомые данные о нагрузках сельских домов села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование домов по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 3.

Таблица 3 – Расчётные нагрузки сельских домов села Лохвицы

Объект	P_B , кВт	Q_B , квар	P_d , кВт	Q_d , квар	S_p , кВА	$\cos(\varphi)$	Категория по надёжности
Одноквартирный дом (электроплита)	6	1.496	3	0.748	6	0.97	3
Двухквартирный дом (электроплита)	12	2.992	6	1.496	12	0.97	3

2.2 Расчёт нагрузок производственных, общественных, коммунальных предприятий, зданий и сооружений

Искомые данные о нагрузках производственных, общественных, коммунальных потребителей села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование объектов по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 4.

Таблица 4 – Расчётные нагрузки производственных, общественных, коммунальных потребителей села Лохвицы

Объект	P_B , кВт	Q_B , квар	P_d , кВт	Q_d , квар	S_p , кВА	$\cos(\varphi)$	Категория по надёжности
контора	2	1	5	3	6	0.86	3
водонап.башня, скважина	20	10	20	10	22	0.89	3
клуб, дк	32	20	10	6	38	0.85	3
гараж	5	4	10	8.5	13	0.76	3
магазин	10	5	10	5	11	0.89	3
Склад	1	1	20	12	23	0.86	3
котельная	28	20	28	20	34	0.81	2
Школа	12	8	21	8.1	23	0.93	3
детсад	12	8	21	8.1	23	0.93	2

2.3 Расчёт нагрузки уличного освещения

Демонстрация примера нахождения искомым данных о нагрузке уличного освещения на шинах 0,4 кВ ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$P_{oc} = P_{oc.уд} \cdot l; \quad (4)$$

$$P_{oc} = 5 \cdot 2,64 = 26,4 \text{ кВт},$$

где $P_{oc.уд}$ – удельная мощность, для освещения улиц по [17] принимаем 5 кВт/км.

l – длина, км.

Искомые данные о нагрузке уличного освещения села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 5.

Таблица 5 – Нагрузка освещения

Наименование ТП	$P_{oc.уд}$, кВт/км.	l , км	P_{oc} , кВт
ТП 9-12	5	1,32	6,6
ТП 9-14	5	1,92	9,6
ТП 9-11	5	0,84	4,2
ТП 9-01	5	1,59	7,95
ТП 9-06	5	2,4	12
ТП 9-07	5	1,35	6,75
ТП 9-03	5	1,44	7,2

2.4 Расчёт электрических нагрузок на шинах 0,4 кВ трансформаторов 10/0,4 кВ

В дальнейших расчётах нагрузки на стороне 0,4 кВ ТП 9-12 используются значения активной нагрузки головных участков фидеров 0,4 кВ:

ф-1 - 28 кВт (таблица 6);

ф-2 – 36 кВт (таблица 6);

ф-3 – 22 кВт (таблица 6);

ф-4 – 45 кВт (таблица 6);

ф-5 – 39 кВт (таблица 6);

освещение - 6,6 кВт.

Демонстрация примера нахождения искомым данных о активной нагрузке на шинах 0,4 кВ ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$P_{P \text{ ТП } 9-12} = P_{P \text{ ф}0,4 \text{ макс}} + P_{P \text{ ф}0,4 \text{ доб}} + P_{ос}; \quad (5)$$

$$P_{P \text{ ТП } 9-12} = 45+6,6+17,7+23,5+13,8+25,8=139 \text{ кВт};$$

где $P_{P \text{ ф}0,4 \text{ макс}}$ – максимальная нагрузка из числа присоединений к шинам 0,4 кВ ТП 9-12, кВт;

$P_{P \text{ ф}0,4 \text{ доб}}$ - добавочная нагрузка из числа присоединений к шинам 0,4 кВ ТП 9-12 кроме максимального с учётом [17], кВт.

Демонстрация примера нахождения искомым данных о полной нагрузке на шинах 0,4 кВ ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$S_{P \text{ ТП } 9-12} = P_{P \text{ ТП } 9-12} / \cos \varphi_{ср}; \quad (6)$$

$$S_{P \text{ ТП } 9-12} = \frac{139}{0.93} = 149 \text{ кВА},$$

где $\cos \varphi_{ср}$ – среднее значение коэффициента мощности на шинах ТП 9-12 по результату расчётов нагрузок фидеров 0,4 кВ.

$P_{P \text{ ф}0,4 \text{ доб}}$ - добавочная нагрузка из числа присоединений к шинам 0,4 кВ ТП 9-12 кроме максимального с учётом [17], кВт.

Демонстрация примера нахождения искомым данных о реактивной нагрузке на шинах 0,4 кВ ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$Q_{P \text{ ТП } 9-12} = \sqrt{(S_{P \text{ ТП } 9-12}^2 - P_{P \text{ ТП } 9-12}^2)}; \quad (7)$$

$$Q_{P \text{ ТП } 9-12} = 149^2 - 139^2 = 54,3 \text{ квар.}$$

Искомые данные о нагрузке на шинах 0,4 кв ТП села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 6.

Таблица 6 – Нагрузки ТП на стороне 0,4 кВ

№ ТП	S _p , кВА	P _p , кВт	Q _p , квар
ТП 9-12	149	139	54.3
ТП 9-14	119	116	30.3
ТП 9-11	68	64	24.4
ТП 9-01	154	144	54.4
ТП 9-06	127	121	36.4
ТП 9-07	109	104	33.1
ТП 9-03	133	124	47.6

3 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ПРОВОДНИКОВ В СЕТИ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Расчёт нагрузок фидеров 0,4 кВ села Лохвицы проводится с учётом коэффициента одновременности, который позволяет учитывать совпадение максимумов нагрузки потребителей, имеющих одинаковый характер работы (сельские дома, коммунально-бытовые потребители, освещение).

Демонстрация примера нахождения искомым данных о расчётной активной нагрузке линии 0,4 кВ ф-1 ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$P_{P \text{ ТП 9-12 ф-1}} = K_o \cdot P_{\text{сумм ф-1}}; \quad (8)$$

$$P_{P \text{ ТП 9-12 ф-1}} = 0,33 \cdot 84 = 28 \text{ кВт};$$

где $P_{\text{сумм ф-1}}$ – суммарная активная нагрузка домов, подключенных на ф-1, 14 домов, 84 кВт;

K_o – коэффициент одновременности для 14 потребителей по линии 0,4 кВ ТП 9-12 с учётом [17].

Демонстрация примера нахождения искомым данных о полной расчётной нагрузке по линии 0,4 кВ ф-1 ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$S_{P \text{ ТП 9-12 ф-1}} = P_{P \text{ ТП 9-12 ф-1}} / \cos \varphi_{\text{ср}};$$

$$S_{P \text{ ТП 9-12 ф-1}} = 28 / 0,97 = 29 \text{ кВА};$$

где $\cos \varphi_{\text{ср}}$ – среднее значение коэффициента мощности по линии 0,4 кВ ф-1 ТП 9-12.

Линии 0,4 кВ села Лохвицы реконструируются с применением проводов марки СИП-2А.

Демонстрация примера нахождения искомым данных о расчётном токе по линии 0,4 кВ ф-1 ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H} ; \quad (9)$$

$$I_P = \frac{29}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 40 \text{ A.}$$

Принимаем СИП сечением жил 16 мм² СИП 2А (3х16+1х10). Условие выбора по нагреву длительно допустимым током для выбранного сечения провода СИП-2А:

$$I_P \leq I_{P \text{ доп}} ;$$

$$40 \text{ A} \leq 100 \text{ A} ;$$

где $I_{P \text{ доп}}$ – длительно допустимый ток выбранного провода, 100 А, [1].

Правильность выбора сечения провода необходимо проверить расчётом потери напряжения по линии 0,4 кВ для исключения ухудшения показателей качества электроэнергии при сохранении пропускной способности линии.

Демонстрация примера нахождения искомым данных о падении напряжения по линии 0,4 кВ ф-1 ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_P \cdot l \cdot \frac{100}{U_H} \cdot (r_{уд} \cdot \cos(\varphi) + x_{уд} \cdot \sin(\varphi)), \quad (10)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 40 \cdot 0,45 \cdot \frac{100}{400} \cdot (1,91 \cdot 0,97 + 0,1 \cdot 0,2) = 15,4\%.$$

где $\cos(\varphi)$ и $\sin(\varphi)$ – средневзвешенные коэффициенты мощности;

l – протяженность фидера по поопорной схеме села Лохвицы 0,4 кВ, км;

$r_{уд} \cdot x_{уд}$ – удельное активное и реактивное сопротивление линии, Ом/км.

Демонстрация примера проверки по падению напряжения линии 0,4 кВ ф-1 ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$\Delta U < \Delta U_{доп}, \quad (11)$$

$$15,4\% < 10\%,$$

где $\Delta U_{доп}$ – величина допустимого падения напряжения 10% по ГОСТ 32144-2013.

Так как условие не выполняется, то принимается решение увеличить сечение провода для линии 0,4 кВ ф-1 и принять провод СИП-2А-25, в результате получено значение потери напряжения и перепроверено условие:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 40 \cdot 0,45 \cdot \frac{100}{400} \cdot (1,2 \cdot 0,97 + 0,09 \cdot 0,2) = 9,7\%.$$

$$9,7\% < 10\%.$$

Искомые данные о нагрузке в сетях 0,4 кВ села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименования ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 7.

Искомые данные о выборе проводов 0,4 кВ села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименования ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 8.

Искомые данные о проверке проводов 0,4 кВ по допустимой потере напряжения села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показы-

вающего наименования ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 9.

Таблица 7 –Нагрузки в сетях.0,4 кВ

Наименование ТП	Тип потребителей	N _{потр}	P _{сумм} , кВт	S _{сумм} , кВА	K _о	P _p , кВт	S _p , кВА	I _p , А
ТП 9-12								
ф-1	население	14	84	87	0.33	28	29	40
ф-2	прочие потребители	14	110	115	0.33	36	38	52
ф-3	население	5	44	53	0.5	22	27	32
ф-4	прочие потребители	17	146	152	0.31	45	47	65
ф-5	прочие потребители	12	110	116	0.35	39	41	56
ВЛ	освещение		13.2			13.2		19
ТП 9-14								
ф-1	население	11	78	80	0.37	29	30	42
ф-2	население	13	90	93	0.34	31	32	44
ф-3	прочие потребители	17	188	196	0.31	58	61	84
ВЛ	освещение		19.2			19.2		28
ТП 9-11								
ф-1	прочие потребители	10	68	76	0.38	26	29	37
ф-2	прочие потребители	9	51	55	0.4	20	22	29
ф-2	прочие потребители	13	78	80	0.34	27	27	38
ВЛ	освещение		8.4			8.4		12
ТП 9-01								
ф-1	прочие потребители	7	56	59	0.43	24	26	35
ф-2	прочие потребители	18	136	144	0.3	41	43	59
ф-3	произв. потребители	6	93	104	0.725	67	75	97
ф-4	население	10	77	80	0.38	29	30	42
ВЛ	освещение		15.9			15.9		23
ТП 9-06								
ф-1	население	13	96	99	0.34	33	34	47
ф-2	прочие потребители	15	89	92	0.32	28	30	41
ф-3	население	19	120	124	0.29	35	36	50
ф-2	прочие потребители	11	96	104	0.37	36	38	51
ВЛ	освещение		24			24.0		35
ТП 9-07								
ф-1	прочие потребители	18	146	152	0.3	44	46	63
ф-2	прочие потребители	21	203	214	0.3	61	64	88
ВЛ	освещение		13.5			13.5		20
ТП 9-03								
ф-1	население	5	60	62	0.5	30	31	43
ф-2	прочие потребители	16	202	224	0.31	63	70	90
ф-2	прочие потребители	8	102	110	0.41	42	45	60
ВЛ	освещение		14.4			14.4		21

Таблица 8 – Выбор проводов 0,4 кВ

ВЛ/КЛ 0,4 кВ	I_p , А	$I_{доп}$, А	$F_{пров}$, мм ²	L, км	cos(φ)	sin(φ)
ТП 9-12						
ф-1	40	130	25	0.45	0.97	0.2
ф-2	52	160	35	0.42	0.96	0.3
ф-3	32	130	25	0.45	0.83	0.6
ф-4	65	240	70	0.6	0.96	0.3
ф-5	56	240	70	0.72	0.95	0.3
ВЛ	19	130	25	0.72	1.00	0.0
ТП 9-14						
ф-1	42	160	35	0.6	0.97	0.2
ф-2	44	201	50	0.6	0.97	0.2
ф-3	84	293	95	0.72	0.96	0.3
ВЛ	28	160	35	0.72	1.00	0.0
ТП 9-11						
ф-1	37	100	16	0.24	0.90	0.4
ф-2	29	100	16	0.18	0.93	0.4
ф-2	38	132	25	0.42	0.97	0.2
ВЛ	12	100	16	0.42	1.00	0.0
ТП 9-01						
ф-1	35	130	25	0.45	0.94	0.3
ф-2	59	195	50	0.54	0.94	0.3
ф-3	97	130	25	0.18	0.89	0.4
ф-4	42	586	25	0.42	0.96	0.3
ВЛ	23	130	25	0.54	1.00	0.0
ТП 9-06						
ф-1	47	160	35	0.51	0.97	0.2
ф-2	41	130	25	0.45	0.96	0.3
ф-3	50	240	70	0.84	0.97	0.2
ф-2	51	195	50	0.6	0.93	0.4
ВЛ	35	195	50	0.84	1.00	0.0
ТП 9-07						
ф-1	63	195	50	0.51	0.96	0.3
ф-2	88	340	120	0.84	0.95	0.3
ВЛ	20	130	25	0.84	1.00	0.0
ТП 9-03						
ф-1	43	160	35	0.57	0.97	0.2
ф-2	90	290	95	0.57	0.90	0.4
ф-2	60	130	25	0.3	0.93	0.4
ВЛ	21	130	25	0.57	1.00	0.0

Таблица 9 – Потери напряжения в сетях 0,4 кВ

ВЛ/КЛ 0,4 кВ	I _p , А	L, км	cos(φ)	sin(φ)	R, Ом/км	X, Ом/км	ΔU, %
ТП 9-12							
φ-1	40	0.45	0.97	0.2	1.2	0.09	9.7
φ-2	52	0.42	0.96	0.3	0.87	0.09	8.6
φ-3	32	0.45	0.83	0.6	1.2	0.09	6.8
φ-4	65	0.6	0.96	0.3	0.44	0.09	8.0
φ-5	56	0.72	0.95	0.3	0.44	0.09	8.1
ВЛ	19	0.72	1.00	0.0	1.2	0.09	7.5
ТП 9-14							
φ-1	42	0.6	0.97	0.2	0.87	0.09	9.9
φ-2	44	0.6	0.97	0.2	0.64	0.09	7.8
φ-3	84	0.72	0.96	0.3	0.32	0.09	9.2
ВЛ	28	0.72	1.00	0.0	0.87	0.09	7.9
ТП 9-11							
φ-1	37	0.24	0.90	0.4	1.91	0.1	7.2
φ-2	29	0.18	0.93	0.4	1.91	0.1	4.4
φ-2	38	0.42	0.97	0.2	1.2	0.09	8.7
ВЛ	12	0.42	1.00	0.0	1.91	0.1	4.4
ТП 9-01							
φ-1	35	0.45	0.94	0.3	1.2	0.09	8.3
φ-2	59	0.54	0.94	0.3	0.64	0.09	9.2
φ-3	97	0.18	0.89	0.4	1.2	0.09	8.9
φ-4	42	0.42	0.96	0.3	1.2	0.09	9.5
ВЛ	23	0.54	1.00	0.0	1.2	0.09	6.8
ТП 9-06							
φ-1	47	0.51	0.97	0.2	0.87	0.09	9.5
φ-2	41	0.45	0.96	0.3	1.2	0.09	9.9
φ-3	50	0.84	0.97	0.2	0.44	0.09	8.6
φ-2	51	0.6	0.93	0.4	0.64	0.09	8.8
ВЛ	35	0.84	1.00	0.0	0.64	0.09	8.5
ТП 9-07							
φ-1	63	0.51	0.96	0.3	0.64	0.09	9.4
φ-2	88	0.84	0.95	0.3	0.253	0.09	9.0
ВЛ	20	0.84	1.00	0.0	1.2	0.09	9.0
ТП 9-03							
φ-1	43	0.57	0.97	0.2	0.87	0.09	9.7
φ-2	90	0.57	0.90	0.4	0.32	0.09	7.7
φ-2	60	0.3	0.93	0.4	1.2	0.09	9.5
ВЛ	21	0.57	1.00	0.0	1.2	0.09	6.5

4 РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК СЕТИ 10 кВ

4.1 Потери мощности в трансформаторах

Уточнение нагрузки на стороне 10 кВ каждой ТП села Лохвицы позволяет сделать правильный выбор сечения проводников в сети 10 кВ, оценить потерю напряжения в сети 10 кВ, получить полные данные о пропускной способности проводов ВЛ 10 кВ.

Демонстрация примера нахождения активных потерь мощности в трансформаторе ТП 9-11 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$\Delta P_T = \Delta P_X + K_3^2 \cdot \Delta P_K, \quad (12)$$

$$\Delta P_T = 0,37 + 0,68^2 \cdot 1,97 = 1,3 \text{ кВт};$$

где ΔP_X - активные потери холостого хода трансформатора ТМ-100/10, номинальной мощностью 100 кВА [2];

ΔP_K - активные потери короткого замыкания трансформатора ТМ-100/10, номинальной мощностью 100 кВА [2].

Демонстрация примера нахождения реактивных потерь холостого хода в трансформаторе ТП 9-11 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$\Delta Q_X = S_{ном.т} \cdot \frac{I_x}{100}, \quad (13)$$

$$\Delta Q_X = 100 \cdot \frac{2,6}{100} = 2,6 \text{ квар};$$

где $S_{ном.т}$ - номинальная мощность ТМ-100/10, 100 кВА [2];

I_x - ток холостого хода трансформатора ТМ-100/10, [2].

Демонстрация примера нахождения реактивных потерь короткого замыкания в трансформаторе ТП 9-11 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$\Delta Q_K = S_{ном.т} \cdot \frac{U_K}{100}, \quad (14)$$

$$\Delta Q_K = 100 \cdot \frac{4,6}{100} = 4,6 \text{ квар};$$

где U_K - напряжение короткого замыкания трансформатора ТМ-100/10, номинальной мощностью 100 кВА [2].

Демонстрация примера нахождения реактивных потерь мощности в трансформаторе ТП 9-11 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_X + K_3^2 \cdot \Delta Q_K, \quad (15)$$

$$\Delta Q_T = 2,6 + 0,67^2 \cdot 4,6 = 4,7 \text{ квар}.$$

Искомые данные по потерям мощности в трансформаторах 10/0,4 кВ села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 10.

Таблица 10 – Потери мощности в трансформаторах

№ ТП	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , квар
ТП 9-12	2.1	9.8
ТП 9-14	2.0	7.9
ТП 9-11	1.3	4.7
ТП 9-01	1.2	5.5
ТП 9-06	2.2	8.3
ТП 9-07	1.8	7.2
ТП 9-03	1.9	8.9

4.2 Выбор трансформаторов 10/0,4 кВ

В соответствии с второй и третьей категорией по надёжности электро-снабжения потребителей села Лохвицы, на ТП устанавливается 1 трансформатор для 3 категории, 2 трансформатора для 2 категории.

Демонстрация примера нахождения расчётной мощности трансформаторов ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$S_{PT} = \frac{S_{ТП}}{n_T \cdot K_c}, \quad (16)$$

$$S_{PT9-12} = \frac{149}{1 \cdot 0,8} = 187 \text{ кВА},$$

где $S_{ТП}$ - расчётная нагрузка на шинах 0,4 кВ ТП, кВА;

n_T - число трансформаторов;

K_c - коэффициент допустимой систематической нагрузки, 0,8, [17].

Демонстрация примера выбора мощности трансформаторов ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$S_{PT} \leq S_{ном}; \quad (17)$$

$$187 \text{ кВА} \leq 250 \text{ кВА}.$$

На ТП 9-12 выбирается трансформатор ТМ-250/10.

Демонстрация примера проверки мощности трансформаторов ТП 9-12 по загрузке в нормальном режиме обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$K_{з\text{ норм}} = \frac{S_p}{S_{НОМТР} \cdot N_{ТР}} \geq 0,5; \quad (18)$$

$$K_{з\text{ норм}} = \frac{149}{250 \cdot 1} = 0,6 \geq 0,5;$$

Демонстрация примера проверки мощности трансформаторов ТП 9-12 по загрузке в послеаварийном режиме обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$K_{з\text{ на}} = \frac{S_p}{S_{НОМТР} \cdot (N_{ТР} - 1)} \leq 1,4, \quad (19)$$

$$K_{з\text{ на}} = \frac{149}{250 \cdot (1)} = 0,6 \leq 1,4.$$

Среди существующих ТП имеются недогруженные, вывод об их замене необходимо сделать после расчёта нагрузки сети 0,4 кВ. Потребители подключаемые к недогруженным ТП переподключаются на аналогичные недогруженные ТП, тем самым создавая оптимальный по загрузке режим работы трансформаторов. По селу Лохвицы такие ТП: ТП 9-08 1x160, ТП 9-02 1x400. Исключение данные ТП из сети 10 кВ позволит уменьшить технические потери в сети 10 кВ (нагрузочные потери короткого замыкания, постоянные потери холостого хода).

Для обоснования замены трансформаторов на ТП 9-14 проверим фактически установленные трансформаторы по загрузке, на ТП 9-14 установлен трансформатор ТМ 250:

$$K_{з\text{ норм}} = \frac{S_p}{S_{НОМТР} \cdot N_{ТР}}; \quad (20)$$

$$K_{з\text{ норм}} = \frac{119}{250 \cdot 1} = 0,48.$$

Из расчёта видно, что фактически установленные трансформаторы недогружены. Поэтому рекомендуется их заменить на ТМ 160, к примеру с разукрупненный ТП 9-08 1х160 при условии, что тип трансформатора подойдёт для установки на опоре в составе столбовой/мачтовой ТП.

Искомые данные по выбору мощности трансформаторов 10/0,4 кВ села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 11.

Таблица 11 – Выбор трансформаторов

№ ТП	S _р , кВА	N _{тр}	K _{загр}	S _{расч} , кВА	S _{ном} , кВА	K _{загр факт}	K _{загр авар}
ТП 9-12	149	1	0.8	187	250	0.60	0.60
ТП 9-14	119	1	0.8	149	160	0.75	0.75
ТП 9-11	68	1	0.8	85	100	0.68	0.68
ТП 9-01	154	2	0.7	110	160	0.5	1.0
ТП 9-06	127	1	0.8	158	160	0.79	0.79
ТП 9-07	109	1	0.8	136	160	0.68	0.68
ТП 9-03	133	1	0.8	166	250	0.53	0.53

Искомые данные по проверке мощности трансформаторов 10/0,4 кВ села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 12.

Таблица 12 – Проверка загрузки трансформаторов

№ ТП	S _р , кВА	S _{ном факт} , кВА	K _{загр факт}	Характеристика
ТП 9-12	149	250	0.60	Оптимальная загрузка
ТП 9-14	119	250	0.48	недогружен, меняется на ТМ-160/10
ТП 9-11	68	250	0.27	недогружен, меняется на ТМ-100/10
ТП 9-01	154	630	0.24	недогружен, не соответствует категорийности потребителей (категория 2), устанавливается дополнительно 2й трансформатор ТМ-160/10
ТП 9-06	127	250	0.5	недогружен, меняется на ТМ-160/10
ТП 9-07	109	250	0.44	недогружен, меняется на ТМ-160/10
ТП 9-03	133	400	0.33	недогружен, меняется на ТМ-250/10

4.3 Нагрузки на высокой стороне трансформаторов 10/0,4 кВ

Демонстрация примера расчёта нагрузки на стороне 10 кВ ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$S_{10кВ ТП} = \sqrt{(P_{ТП} + \Delta P_T)^2 + (Q_{ТП} + \Delta Q_{ТП})^2}; \quad (21)$$

$$S_{10кВ ТП} = \sqrt{(139 + 2,1)^2 + (54,3 + 9,8)^2} = 155 \text{ кВА}$$

Искомые данные по расчёту нагрузок на остальных ТП на стороне 10 кВ трансформаторов 10/0,4 кВ села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименования ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 13.

Таблица 13 - Нагрузка ТП на стороне 10 кВ

№ ТП	P _{пр} , кВт	Q _{пр} , квар	S _{пр} , кВА
ТП 9-12	141	64	155
ТП 9-14	118	38	124
ТП 9-11	65	29	71
ТП 9-01	146	65	160
ТП 9-06	123	45	131
ТП 9-07	106	40	113
ТП 9-03	126	57	138

5 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ПРОВОДНИКОВ В СЕТИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

5.1 Выбор схемы и сечений распределительной сети 10 кВ

ВЛ 10 кВ выполняем проводом СИП – 3, каталожные данные приведены в [11]. Для этого, составляем 2 варианта исполнения схемы сети 10 кВ:

1 – Схема подключения ТП 9-06 остается прежней, линия остается в прежнем режиме кольца с ПС «Томичи». Оставшиеся ТП села Лохвицы подключаются по кольцевой схеме к разным секциям шин ПС Лохвицы с разрывом петли по ТП 9-01 исходя из оптимальной загрузки ветвей схемы по потерям электроэнергии;

2 – Схема подключения ТП кольцевая с разными источниками питания ветвей колец, второй источник питания – ПС Томичи.

Демонстрация примера нахождения искомым данных о расчётной активной нагрузке линии 10 кВ по варианту 1 (ТП 9-12, ТП 9-11, ТП 9-01) обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$P_{P\text{ ВЛ-10}} = K_o \cdot P_{\text{сумм ТП-10 кВ}}; \quad (22)$$

$$P_{P\text{ ВЛ-10}} = 0,9 \cdot 353 = 317 \text{ кВт};$$

где $P_{\text{сумм ТП-10 кВ}}$ – суммарная активная нагрузка ТП 9-12, ТП 9-11, ТП 9-01 на стороне 10 кВ, 353 кВт;

K_o – коэффициент одновременности для 3 ТП по линии 10 кВ с учётом [17], 0,9.

Демонстрация примера нахождения искомым данных о расчётной реактивной нагрузке линии 10 кВ по варианту 1 (ТП 9-12, ТП 9-11, ТП 9-01) обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$Q_{P \text{ ВЛ-10}} = K_o \cdot Q_{\text{сумм ТП-10 кВ}}; \quad (23)$$

$$Q_{P \text{ ВЛ-10}} = 0,9 \cdot 159 = 143 \text{ квар};$$

где $Q_{\text{сумм ТП-10 кВ}}$ – суммарная реактивная нагрузка ТП 9-12, ТП 9-11, ТП 9-01 на стороне 10 кВ, 159 квар.

Демонстрация примера нахождения искомого данных о расчётной нагрузке линии 10 кВ по варианту 1 (ТП 9-12, ТП 9-11, ТП 9-01) обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$S_{P \text{ ВЛ-10}} = \sqrt{(P^2_{P \text{ ВЛ-10}} + Q^2_{P \text{ ВЛ-10}})}; \quad (24)$$

$$S_{P \text{ ВЛ-10}} = \sqrt{(317^2 + 143^2)} = 348 \text{ кВА}.$$

Демонстрация примера нахождения искомого данных о расчётном токе линии 10 кВ по варианту 1 (ТП 9-12, ТП 9-11, ТП 9-01) обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_P = \frac{S_{P \text{ ВЛ-10}}}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (25)$$

$$I_P = \frac{348}{\sqrt{3} \cdot 10} = 20 \text{ А}.$$

Принимаем СИП сечением жил 35 мм^2 СИП-3 (3x1x35). Условие выбора по нагреву длительно допустимым током для выбранного сечения провода СИП-3:

$$I_P \leq I_{P \text{ доп}}; \quad (26)$$

$$20 \text{ A} \leq 200 \text{ A};$$

где $I_{p \text{ доп}}$ – длительно допустимый ток выбранного провода, 200 А, [5].

Правильность выбора сечения провода необходимо проверить расчётом потери напряжения по линии 10 кВ для исключения ухудшения показателей качества электроэнергии при сохранении пропускной способности линии.

Демонстрация примера нахождения искомым данных о падении напряжения по линии 10 кВ по варианту 1 (ТП 9-12, ТП 9-11, ТП 9-01) обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \frac{100}{U_H} \cdot (r_{уд} \cdot \cos(\varphi) + x_{уд} \cdot \sin(\varphi)),$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 2,1 \cdot \frac{100}{10000} \cdot (0,986 \cdot 0,91 + 0,1 \cdot 0,41) = 0,7\%,$$

где $\cos(\varphi)$ и $\sin(\varphi)$ – средневзвешенные коэффициенты мощности;

l – протяженность фидера на основе поопорной схемы 10 кВ, км;

$r_{уд}, x_{уд}$ – удельное активное и реактивное сопротивление линии, Ом/км.

Демонстрация примера проверки по падению напряжения линии 10 кВ по варианту 1 (ТП 9-12, ТП 9-11, ТП 9-01) обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$\Delta U < \Delta U_{\text{доп}},$$

$$0,7\% < 10\%,$$

где $\Delta U_{\text{доп}}$ – величина допустимого падения напряжения 10% по ГОСТ 32144-2013.

Демонстрация примера нахождения потерь электроэнергии по линии 10 кВ по варианту 1 (ТП 9-12, ТП 9-11, ТП 9-01) обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$\Delta W_{ВЛ} = \frac{(P_{Л})^2 + (Q_{Л})^2}{U_{ном}^2} \cdot R \cdot T, \quad (27)$$

$$\Delta W_{ВЛ} = \frac{(317)^2 + (143)^2}{10^2} \cdot 0,986 \cdot 8760 = 21978 \text{ кВтч},$$

где $P_{Л}$ – потоки активной мощности по линии, кВт;

$Q_{Л}$ – потоки реактивной мощности по линии, квар;

R, X – активное и реактивное сопротивление провода СИП-3-35, Ом;

T – число часов, 8760 ч.

Искомые данные по выбору проводов сети 10 кВ села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименования ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 14.

Таблица 14 – Выбор проводов сети 10 кВ

Линия	$P_{сум}$, кВт	$Q_{сум}$, квар	$S_{сум}$, кВА	K_0	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А	$I_{доп}$, А	$F_{СИП-3}$, мм ²	L , км	$n_{ц}$
Вариант №1												
ТП 12-11-01	353	159	387	0.90	317	143	348	20	200	35	2.1	1
ТП 14-03-07	349	135	374	0.90	314	121	337	19	200	35	3.95	1
ТП 06	123	45	131	1	123	45	131	8	200	35	1.5	1
обрыв головного участка до ТП 12	702	294	761	0.8	562	235	609	35	200	35	6.1	1
Вариант №2												
ТП 12-14-11-07-03	556	228	601	0.8	445	182	481	28	200	35	3.4	1
ТП 01-06	270	110	291	0.9	243	99	262	15	200	35	2.0	1

Искомые данные по проверке проводов сети 10 кВ села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 15.

Таблица 15 - Проверка проводов сети 10 кВ

Линия	I_p, A	$I_{доп}, A$	$F_{СИП-3}, мм^2$	$L, км$	$n_{ц}$	$R_{л}, Ом/км$	$X_{л}, Ом/км$	$\Delta W_{л}, кВтч$	$\Delta U_{л}, \%$
Вариант №1									
ТП 12-11-01	20	200	35	2.1	1	0.986	0.10	21978	0.7
ТП 14-03-07	19	200	35	3.95	1	0.986	0.10	38727	1.3
ТП 06	8	200	35	1.5	1	0.986	0.10	2233	0.2
обрыв головного участка до ТП 12	35	200	35	6.1	1	0.986	0.10	193599	3.5
Вариант №2									
ТП 12-14-11-07-03	28	200	35	3.4	1	0.986	0.10	67812	1.6
ТП 01-06	15	200	35	2.0	1	0.986	0.10	11876	0.5

5.2 Техникоэкономическое сравнение вариантов сети 10 кВ

Затраты на сооружение сети 10 кВ села Лохвицы допускается выбирать при учебном проектировании по приведенным среднегодовым затратам.

Показательный расчёт приведенных затрат для сооружения сети 10 кВ обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$Z = E_H \cdot K + И = E_H \cdot (K_{ВЛ} + K_{ВЫКЛ}) + (A \cdot K_{ВЛ} + A \cdot K_{ВЫКЛ}) + C_0 \cdot (\Delta W_{ВЛ}) \cdot 10^{-3}, \quad (28)$$

где $E_H = 0,1$ - норматив дисконтирования;

$K_{ВЛ}$ и $K_{ВЫКЛ}$ - стоимость ВЛ и выключателей соответственно, [2];

$C_0 = 1,9$ руб/кВт·ч – стоимость потерь электроэнергии, [7];

A - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание
 $a_{ам.выкл} = 5,9\%$, $a_{ам.ВЛЭП} = 0,5\%$, [25];

$\Delta W_{ВЛ}$ - потери электроэнергии в ВЛ.

Искомые данные по сравнению вариантов сети 10 кВ села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименования ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 16.

Таблица 16 – Сравнение вариантов сети 10 кВ

исходные данные	по варианту 1	по варианту 2	
$N_{выкл}$, шт	3	2	
$L_{пров35}$, км	8.25	5.4	
$C_{выкл}$, тыс. руб	260	260	
$C_{пров35}$, тыс. руб	64,11	64,11	
$C_{потерь ээ}$, руб/кВтч	1,9	1,9	
расчётные данные	по варианту 1	по варианту 2	
$I_{пров экпл}$, тыс. руб	3	2	
$I_{выкл экпл}$, тыс. руб	46	31	
$I_{аморт}$, тыс. руб	65	43	разница
$I_{потерь ээ}$, тыс. руб	120	151	32
Z , тыс. руб	365	314	51

В результате сравнения по приведенным затратам выявлено, что вариант 2 дешевле на 51 тыс. руб (14%).

6 РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ШИНАХ ПИТАЮЩЕЙ ПОДСТАНЦИИ

6.1 Расчётная нагрузка на шинах 10 кВ подстанции «Лохвицы»

Показательный расчёт расчётной активной нагрузки на шинах 10 кВ ПС «Лохвицы» обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$P_{P\text{ ПС}} = K_o \cdot P_{\text{сумм ТП-10 кВ}}; \quad (29)$$

$$P_{P\text{ ПС}} = 0,75 \cdot 825 = 619 \text{ кВт};$$

где $P_{\text{сумм ТП-10 кВ}}$ – суммарная активная нагрузка ТП на стороне 10 кВ, 825 кВт;

K_o – коэффициент одновременности с учётом [17], 0,75.

Показательный расчёт расчётной реактивной нагрузки на шинах 10 кВ ПС «Лохвицы» обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$Q_{P\text{ ПС}} = K_o \cdot Q_{\text{сумм ТП-10 кВ}}; \quad (30)$$

$$Q_{P\text{ ПС}} = 0,75 \cdot 338 = 254 \text{ квар};$$

где $Q_{\text{сумм ТП-10 кВ}}$ – суммарная реактивная нагрузка ТП на стороне 10 кВ, 338 квар.

Показательный расчёт расчётной полной нагрузки на шинах 10 кВ ПС «Лохвицы» обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$S_{P\text{ ПС}} = \sqrt{(P_{P\text{ ПС}}^2 + Q_{P\text{ ПС}}^2)}; \quad (31)$$

$$S_{P\text{ПС}} = \sqrt{(619^2 + 254^2)} = 669 \text{ кВА.}$$

Показательный расчёт расчётного тока на шинах 10 кВ ПС «Лохвицы» обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_P = \frac{S_{P\text{ПС}}}{\sqrt{3} \cdot U_H} ; \quad (32)$$

$$I_P = \frac{669}{\sqrt{3} \cdot 10} = 39 \text{ А.}$$

6.2 Компенсация реактивной мощности на шинах 10 кВ подстанции «Лохвицы»

Показательный расчёт расчётного коэффициента реактивной мощности на шинах 10 кВ ПС «Лохвицы» обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$\text{tg}\varphi = Q_{P\text{ПС}} / P_{P\text{ПС}}, \quad (33)$$

$$\text{tg}\varphi = 254 / 619 = 0,41.$$

Для проверки необходимости компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ПС «Лохвицы» обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт [18]:

$$\text{tg}\varphi \leq \text{tg}\varphi_{\text{нд}}; \quad (34)$$

$$0,41 \leq 0,4.$$

Затраты на установку батареи конденсаторов ожидаются больше, чем эффект от их установки.

Так как к ПС «Лохвицы» помимо села Лохвицы подключено село Савельевка, нагрузка которого не рассматривается, и ввиду незначительного превышения требуемого коэффициента мощности, то вопрос компенсации реактивной мощности на стороне 10 кВ ПС не рассматривается.

7 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

7.1 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ

Показательный расчёт сопротивления системы приведенных затрат для сооружения сети 10 кВ обеспечивается использованием исходной информация и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт, [13]:

$$X_c = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot I_{отк}}; \quad (35)$$

$$X_c = \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot 12.5} = 0.485;$$

где $I_{отк}$ – отключающая способность выключателя ВВ/Тел-10–12,5-20/630 УХЛ2 на головном участке сети $I_{отк}=12,5$ кА.

Точки КЗ по сети 10 кВ принимаются на шинах 10 кВ каждой ТП для корректной оценки уровней токов КЗ по сети 10 кВ, при этом упрощенная схема сети 10 кВ показана на рисунке 2. Схема замещения сети 10 кВ показана на рисунке 3.

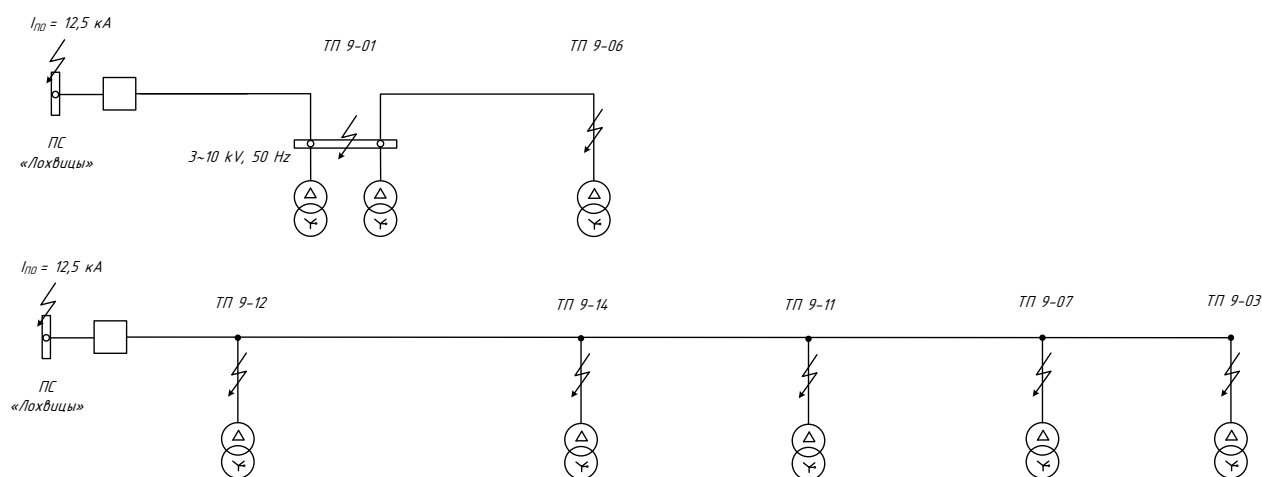


Рисунок 2 - Упрощенная схема сети 10 кВ

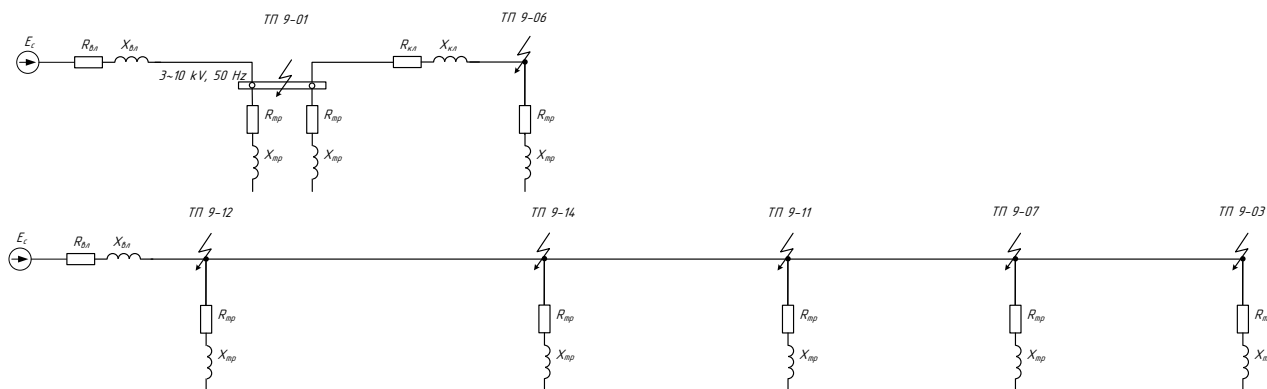


Рисунок 3 – Схема замещения сети 10 кВ

Демонстрация расчёта проводится для точки КЗ на ТП 9-12, для остальных ТП расчёт выполняется по подобию данного расчёта.

Демонстрация примера нахождения активного и индуктивного сопротивления участков линии до ТП-9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$X_{Л} = x_{y\partial} \cdot L ; \quad (36)$$

$$X_{Л} = 0,1 \cdot 0,55 = 0,055 \text{ Ом};$$

$$R_{Л} = r_{y\partial} \cdot L , \quad (37)$$

$$R_{Л} = 0,986 \cdot 0,55 = 0,54 \text{ Ом},$$

где $r_{y\partial}$, $x_{y\partial}$ - удельное активное и реактивное сопротивление линии 10 кВ с проводом СИП-3, Ом/км;

L – длина участка линии 10 кВ с проводом СИП-3, км.

Демонстрация примера нахождения тока трехфазного короткого замыкания на ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{no} = \frac{U_{CPHH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma K2}^2 + X_{\Sigma K2}^2}}; \quad (38)$$

$$I_{no} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,54^2 + (0,485 + 0,055)^2}} = 7,56 \text{ кА.}$$

Демонстрация примера нахождения тока двухфазного короткого замыкания на ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{noTP}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{noTP}^{(3)}; \quad (39)$$

$$I_{noTP}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7,56 = 6,58 \text{ кА.}$$

Демонстрация примера нахождения постоянной затухания тока короткого замыкания на ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$T_{TP} = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma} \cdot 314}; \quad (40)$$

$$T_{TP} = \frac{(0,055 + 0,485)}{0,54 \cdot 314} = 0,004 \text{ с.}$$

Демонстрация примера нахождения коэффициента затухания тока короткого замыкания на ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$K_{y\partial TP} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_{TP}}}; \quad (41)$$

$$K_{y\partial TP} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,004}} = 1,03$$

Демонстрация примера нахождения ударного тока короткого замыкания на ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$i_{y\partial TP} = K_{y\partial TP} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ноTP}; \quad (42)$$

$$i_{y\partial TP} = 1,03 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,56 = 11 \text{ кА.}$$

Искомые данные по токам КЗ в сети 10 кВ села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего найденные параметры по строкам и наименования ТП по столбцам таблицы 17.

Таблица 17 – Результаты расчетов токов КЗ в сети 10 кВ

ТП	ТП 9-12	ТП 9-14	ТП 9-11	ТП 9-01	ТП 9-06	ТП 9-07	ТП 9-03
Лл 10кВ, км	0,55	1,15	1,75	1,40	2,00	2,65	3,40
Рл 10кВ, Ом	0,54	1,13	1,73	1,38	1,97	2,61	3,35
Z _Σ , Ом	0,76	1,28	1,85	1,51	2,09	2,72	3,45
I ⁽³⁾ _{но} , кА	7,56	4,51	3,13	3,82	2,77	2,13	1,67
I ⁽²⁾ _{но} , кА	6,58	3,92	2,72	3,32	2,41	1,85	1,46
T, с	0,004	0,007	0,011	0,009	0,013	0,017	0,022
K _{уд}	1,03	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
I _{уд} , кА	11,0	6,4	4,4	5,4	3,9	3,0	2,4

7.2 Проверка линий 10 кВ на воздействие токов короткого замыкания

Демонстрация примера нахождения расчетного теплового импульса тока КЗ на ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$W_{кр} = I_{кз}^2 \cdot t_{п} , \quad (43)$$

$$W_{кр} = 7,56^2 \cdot 0,55 = 31,4 \text{ кА}^2\text{с};$$

где $I_{кз}$ - тока трехфазного короткого замыкания на ТП 9-12;

$t_{п}$ - приведённое время КЗ.

Демонстрация примера нахождения приведённого времени КЗ на ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$t_n = t_{рз} + t_{г} + t_{сел}; \quad (44)$$

$$t_n = 0,01 + 0,04 + 0,5 = 0,55 \text{ с};$$

где $t_{рз}$ - время срабатывания комплекта защиты линии 10 кВ, 0,01с;

$t_{г}$ - время отключения выключателя на головном участке линии 10 кВ 0,04с,

$t_{сел}$ - ступень селективности 0,5 с для каждой из ступеней селективности (всего 1х0,5 с до ТП 9-12).

Демонстрация примера нахождения номинального теплового импульса тока КЗ на ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$W_{кн} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм} ; \quad (45)$$

$$W_{кн} = 5^2 \cdot 2 = 50 .$$

где $I_{терм}$ - ток термической стойкости провода СИП-3-35, 5 кА;

$t_{терм}$ - время термической стойкости провода СИП-3-35, 2 с;

Демонстрация проверки проводов 10 кВ до ТП 9-12 по термической стойкости обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$B_{кр} < B_{кн}; \quad (46)$$

$$31,4 \text{ кА}^2 \text{ с} < 50 \text{ кА}^2 \text{ с}.$$

Искомые данные по результатам проверки термической стойкости проводов 10 кВ села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование ТП по строкам и по найденные параметры столбцам таблицы 18.

Таблица 18 – Проверка сечений линий 10 кВ

ТП	$I^{(3)}_{по}, \text{ кА}$	$t_{п}, \text{ с}$	$B_{кр}, \text{ кА}^2 \text{ с}$	$B_{кн}, \text{ кА}^2 \text{ с}$
ТП 9-12	7,56	0,5	31,4	50
ТП 9-14	4,51	1	21,3	50
ТП 9-11	3,13	1,5	15,2	50
ТП 9-01	3,82	0,5	8,0	50
ТП 9-06	2,77	1	8,1	50
ТП 9-07	2,13	2	9,3	50
ТП 9-03	1,67	2,5	7,2	50

Провод СИП-3-35 проверку проходит по устойчивости по всем участкам сети 10 кВ.

7.3 Расчет токов короткого замыкания в сети 0.4 кВ

Точки КЗ по сети 0,4 кВ принимаются на шинах 0,4 кВ каждой ТП и в конце каждой линии 0,4 кВ для корректной оценки уровней токов КЗ по сети 0,4 кВ, при этом упрощенная схема сети 0,4 кВ показана на рисунке 4.

Схема замещения сети 0,4 кВ показана на рисунке 5. Расчет токов КЗ в сети 0,4 кВ выполняется в именованных единицах в МОм.

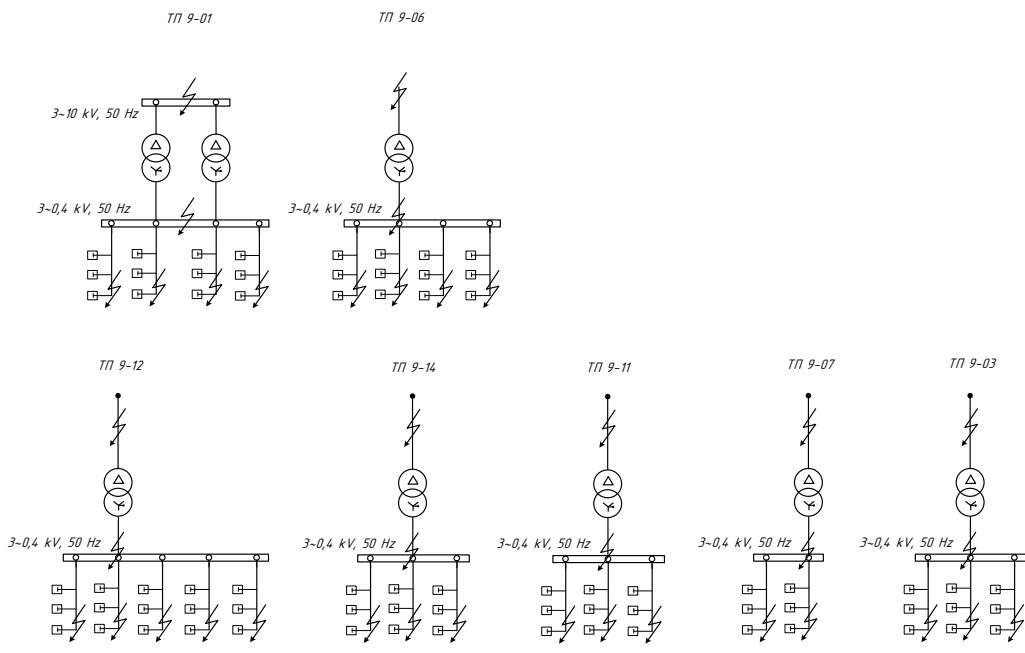


Рисунок 4 - Упрощенная схема сети 0,4 кВ

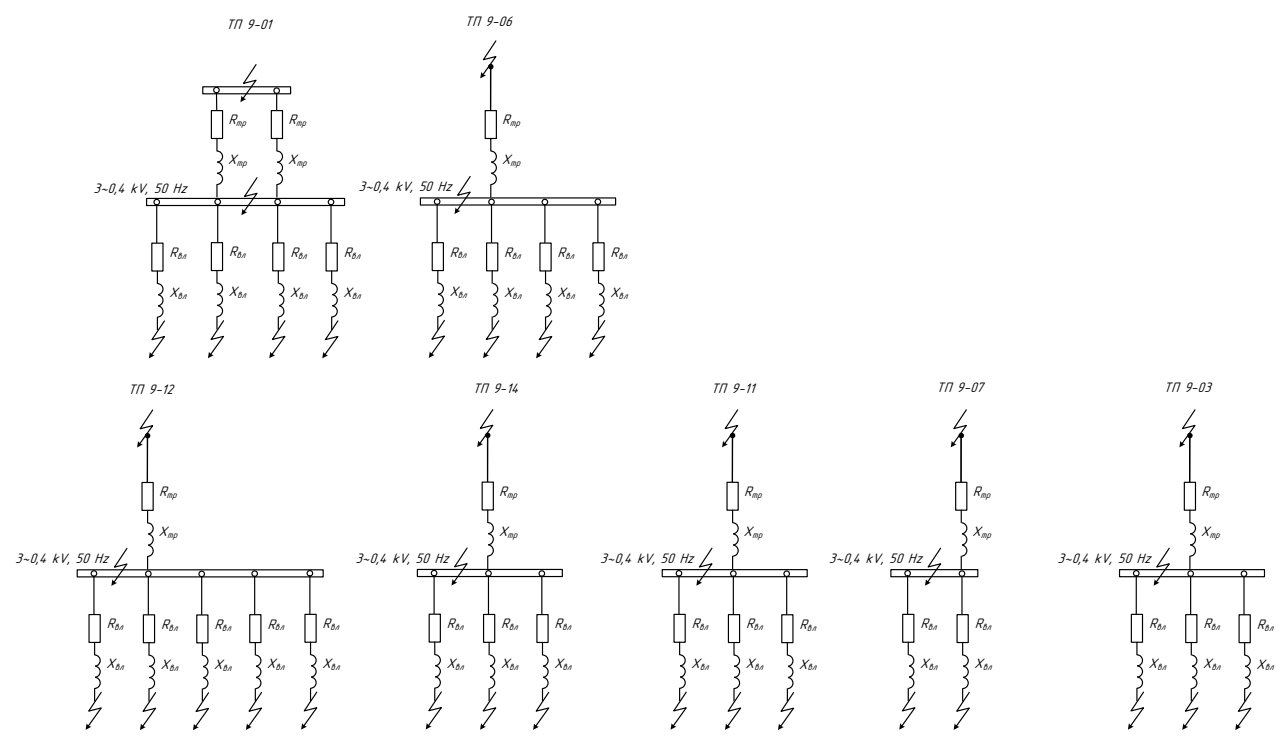


Рисунок 5 - Схема замещения сети 0,4 кВ

Демонстрация расчёта проводится для точки КЗ на ТП 9-12, для остальных ТП расчёт выполняется по подобию данного расчёта.

Демонстрация примера нахождения сопротивления системы на стороне 0,4 кВ ТП-9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$x_C = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot I_{K3}^{(3)} \text{ ВТП}}; \quad (47)$$

$$x_C = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 7,56} = 3,1 \text{ мОм},$$

Сопротивления трансформатора ТМ-250 берётся по [10]: $R_{mp} = 9,4 \text{ мОм}$, $X_{mp} = 38,2 \text{ мОм}$. Переходное сопротивление шин ТП принимается $R_{перех} = 20 \text{ мОм}$.

Сопротивление автоматического выключателя ВА 57-35-250 принимается по [11] $R_{авт \ ввод} = 1,5 \text{ мОм}$, $X_{авт \ ввод} = 0,5 \text{ мОм}$.

Демонстрация примера нахождения суммарного сопротивления на стороне 0,4 кВ ТП-9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$R_{\Sigma K1} = R_{mp} + R_{перех} + R_{авт \ ввод}, \quad (48)$$

$$R_{\Sigma K1} = 9,4 + 20 + 1,5 = 30,9 \text{ мОм}; \quad (49)$$

$$X_{\Sigma K1} = X_{mp} + X_{авт \ ввод} + x_C; \quad (50)$$

$$X_{\Sigma K1} = 38,2 + 0,5 + 3,1 = 41,8 \text{ мОм}. \quad (51)$$

Демонстрация примера нахождения тока трехфазного КЗ на стороне 0,4 кВ ТП-9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I^{(3)}_{noK-1} = \frac{U_{CPHH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2}}; \quad (52)$$

$$I^{(3)}_{noK-1} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(30,9)^2 + (41,8)^2}} = 4,45 \text{ кА}$$

Демонстрация примера нахождения тока однофазного КЗ на стороне 0,4 кВ ТП-9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I^{(1)}_{noK-1} = \frac{U_{CPHH} \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{(3 \cdot R_{mp} + R_{перех} + R_{авт ввод})^2 + (3 \cdot X_{mp} + X_{авт ввод} + x_C)^2}}; \quad (53)$$

$$I^{(1)}_{noK-1} = \frac{400 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{(3 \cdot 9,4 + 0 + 1,5)^2 + (3 \cdot 38,2 + 0,5 + 0)^2}} = 1,95 \text{ кА},$$

Демонстрация примера нахождения постоянной затухания тока КЗ на стороне 0,4 кВ ТП-9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$T_a = \frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma} \cdot 314}; \quad (54)$$

$$T_a = \frac{41,8}{30,9 \cdot 314} = 0,004 \text{ с.}$$

Демонстрация примера нахождения коэффициента затухания тока КЗ на стороне 0,4 кВ ТП-9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$K_{y\partial} = 1 + e^{\frac{0,01}{T_a}} ; \quad (55)$$

$$K_{y\partial} = 1 + e^{\frac{0,01}{0,004}} = 1,1 .$$

Демонстрация примера нахождения ударного тока КЗ на стороне 0,4 кВ ТП-9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$i_{y\partial K1} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ноK1} ; \quad (56)$$

$$i_{y\partial K1} = 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,45 = 6,91 \text{ кА} .$$

Демонстрация примера нахождения сопротивлений линии 1 0,4 кВ от ТП-9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$X_{БЛ-1} = x_{y\partial} \cdot L_{БЛ-1} ; \quad (57)$$

$$X_{БЛ-1} = 0,09 \cdot 450 = 40,5 \text{ мОм} ;$$

$$R_{БЛ-1} = r_{y\partial} \cdot L_{БЛ-1} , \quad (58)$$

$$R_{БЛ-1} = 1,2 \cdot 450 = 540 \text{ мОм} ,$$

где $r_{y\partial}$, $x_{y\partial}$ - удельное активное и реактивное сопротивление линии 1 от ТП 9-12, мОм/м;

L – длина участка провода СИП-2А, м.

Искомые данные по токам КЗ на стороне 0,4 кВ ТП села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименования ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 19.

Таблица 19 – Результаты расчетов токов КЗ на шинах 0,4 кВ ТП

ТП	X _T , МОм	R _T , МОм	R _{перех} , МОм	X _{авт} ввод, МОм	R _{авт} ввод, МОм	X _с , МОм	Z _Σ , МОм	I ⁽³⁾ _{по} , кА	I ⁽¹⁾ _{по} , кА	T, с	K _{уд}	I _{уд} , кА
ТП 9-12	38,2	9,4	20	0,5	1,5	3,1	51,95	4,45	1,95	0,004	1,10	6,911
ТП 9-14	52,7	16,6	20	1	1,5	5,1	69,67	3,32	1,39	0,005	1,13	5,297
ТП 9-11	76	36,3	20	0,7	1,7	7,4	102,15	2,26	0,91	0,005	1,11	3,568
ТП 9-01	52,7	16,6	20	0,7	1,7	6,1	70,73	3,27	1,38	0,005	1,13	5,235
ТП 9-06	52,7	16,6	20	0,5	1,5	8,3	72,39	3,19	1,39	0,005	1,14	5,164
ТП 9-07	52,7	16,6	20	0,7	1,7	10,9	74,82	3,09	1,38	0,005	1,15	5,043
ТП 9-03	38,2	9,4	20	0,5	1,5	13,8	60,92	3,80	1,95	0,005	1,16	6,213

Искомые данные по токам КЗ на линиях 0,4 кВ села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименования ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 20.

Таблица 20 – Результаты расчетов токов КЗ на линиях 0,4 кВ

ВЛ/КЛ 0,4 кВ	R _л , МОм	X _л , МОм	Z _Σ , МОм	I ⁽³⁾ _{по} , кА	I ⁽¹⁾ _{по} , кА	T, с	K _{уд}	I _{уд} , кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТП 9-12								
φ-1	540,0	40,5	541,5	0,4	0,10	0,000	1,0	0,6
φ-2	365,4	37,8	367,3	0,6	0,15	0,000	1,0	0,8
φ-3	540,0	40,5	541,5	0,4	0,10	0,000	1,0	0,6
φ-4	264,0	54,0	269,5	0,7	0,19	0,001	1,0	1,0
φ-5	316,8	64,8	323,4	0,6	0,16	0,001	1,0	0,9
ВЛ	864,0	64,8	866,4	0,3	0,06	0,000	1,0	0,4
ТП 9-14								
φ-1	522,0	54,0	524,8	0,4	0,10	0,000	1,0	0,6
φ-2	384,0	54,0	387,8	0,5	0,27	0,000	1,0	0,7
φ-3	230,4	64,8	239,3	0,7	0,39	0,001	1,0	1,1
ВЛ	626,4	64,8	629,7	0,3	0,09	0,000	1,0	0,5
ТП 9-11								
φ-1	458,4	24,0	459,0	0,4	0,12	0,000	1,0	0,6
φ-2	343,8	18,0	344,3	0,5	0,16	0,000	1,0	0,7
φ-2	504,0	37,8	505,4	0,4	0,11	0,000	1,0	0,5
ВЛ	802,2	42,0	803,3	0,3	0,07	0,000	1,0	0,4
ТП 9-01								
φ-1	540,0	40,5	541,5	0,4	0,10	0,000	1,0	0,5
φ-2	345,6	48,6	349,0	0,6	0,15	0,000	1,0	0,8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ф-3	216,0	16,2	216,6	0,8	0,24	0,000	1,0	1,1
ф-4	504,0	37,8	505,4	0,4	0,11	0,000	1,0	0,6
ВЛ	648,0	48,6	649,8	0,3	0,09	0,000	1,0	0,5
ТП 9-06								
ф-1	443,7	45,9	446,1	0,4	0,12	0,000	1,0	0,6
ф-2	540,0	40,5	541,5	0,4	0,10	0,000	1,0	0,5
ф-3	369,6	75,6	377,3	0,5	0,13	0,001	1,0	0,7
ф-2	384,0	54,0	387,8	0,5	0,14	0,000	1,0	0,7
ВЛ	537,6	75,6	542,9	0,4	0,10	0,000	1,0	0,5
ТП 9-07								
ф-1	326,4	45,9	329,6	0,6	0,16	0,000	1,0	0,8
ф-2	212,5	75,6	225,6	0,8	0,19	0,001	1,0	1,1
ВЛ	1008,0	75,6	1010,8	0,2	0,06	0,000	1,0	0,3
ТП 9-03								
ф-1	495,9	51,3	498,5	0,4	0,11	0,000	1,0	0,6
ф-2	182,4	51,3	189,5	0,9	0,24	0,001	1,0	1,3
ф-2	360,0	27,0	361,0	0,5	0,15	0,000	1,0	0,8
ВЛ	684,0	51,3	685,9	0,3	0,08	0,000	1,0	0,4

7.4 Расчет токов короткого замыкания на шинах 10 кВ подстанции Лохвицы

Расчет токов КЗ проводится в относительных единицах с приближённым приведением. Для определения мощности КЗ системы используется информация об уровне токов КЗ на 2 шс 35 кВ ПС «Среднебелая» $I_{K^{(3)}} = 1,47$ кА, (рисунок б).

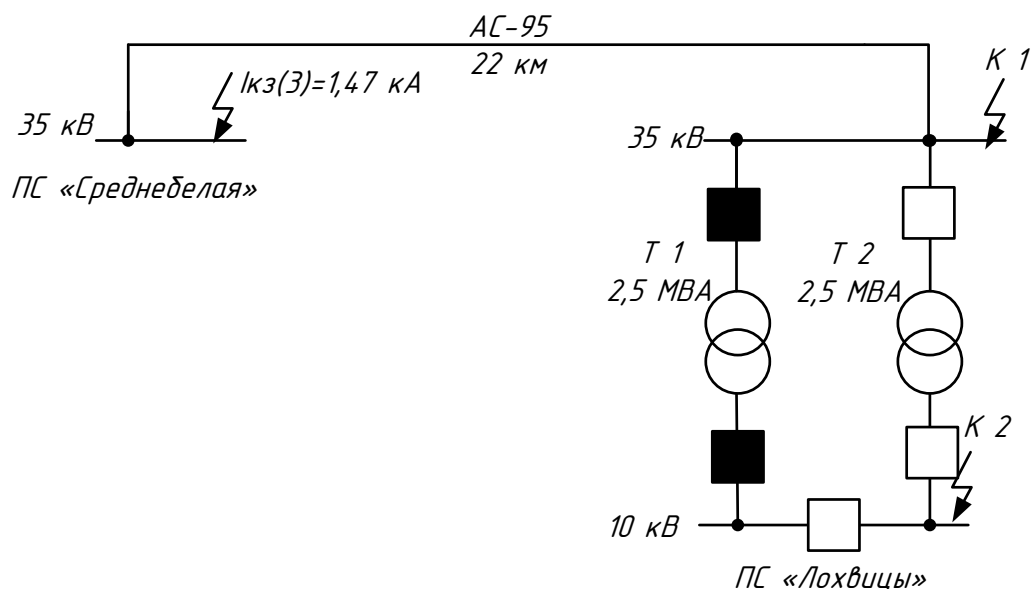


Рисунок 6 – Упрощенная схема для расчёта токов КЗ на ПС «Лохвицы»

Схема замещения сети 35 кВ показана на рисунке 7. Расчет токов КЗ в сети 35 кВ выполняется в относительных единицах.

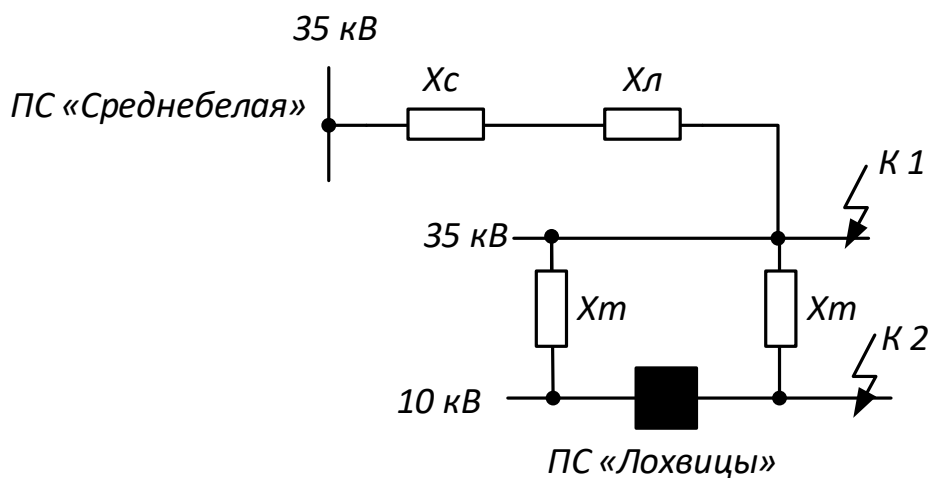


Рисунок 7 – Схема для расчёта токов КЗ на ПС «Лохвицы»

Базисные условия исходя из особенностей расчёта в относительных единицах: $S_B = 10$ МВА; $U_{B1} = 35$ кВ; $U_{B2} = 10$ кВ.

Демонстрация примера нахождения базисного тока на стороне 35 кВ обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{B1} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{B1}}; \quad (59)$$

$$I_{B1} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 35} = 0,165 \text{ кА} .$$

Демонстрация примера нахождения базисного тока на стороне 10 кВ обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{B2} = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_{B2}}; \quad (60)$$

$$I_{B2} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 10} = 0,58 \text{ кА} .$$

Демонстрация примера нахождения сопротивления трансформаторов обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$X_T = \frac{U_K \cdot S_B}{100 \cdot S_{НОМТР}} ; \quad (61)$$

$$X_T = \frac{7,5 \cdot 10}{100 \cdot 2,5} = 0,3 ;$$

где U_K - напряжение короткого замыкания для трансформатора ТМ-2500/35;

$S_{НОМТР}$ - номинальная мощность трансформатора ТМ-2500/35, 2,5 МВА;

Демонстрация примера нахождения сопротивления системы обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$X_C = \frac{I_{B1}}{I_K}, \quad (62)$$

$$X_C = \frac{0,165}{1,47} = 0,112,$$

где I_K - ток КЗ на шинах 35 кВ ПС «Среднебелая», $I_K^{(3)} = 1,47$ кА,

Демонстрация примера нахождения сопротивления линии обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$X_{л} = \Sigma X_{уд} \cdot L \cdot \frac{S_B}{U_B^2}; \quad (63)$$

$$X_{л} = 0,42 \cdot 22 \cdot \frac{10}{35^2} = 0,075,$$

где L - длина линии, км;

$X_{уд}$ - удельное сопротивление линии, принимается 0,42 для провода АС-95, Ом/км.

Демонстрация примера нахождения тока трёхфазного КЗ в точках К-1 и К-2 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{п0 К1} = \frac{E_C \cdot I_{Б1}}{X_C + X_{л}}; \quad (64)$$

$$I_{п0 К1} = \frac{1 \cdot 0,165}{0,075 + 0,112} = 0,88 \text{ кА};$$

$$I_{п0 К2} = \frac{E_C \cdot I_{Б2}}{X_C + X_{л} + X_T}; \quad (65)$$

$$I_{п0 К2} = \frac{1 \cdot 0,58}{0,112 + 0,3 + 0,075} = 1,19 \text{ кА};$$

Демонстрация примера нахождения апериодической составляющей тока трёхфазного КЗ в точках К-1 и К-2 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$i_{a0 К1} = \sqrt{2} \cdot I_{п0 К1}; \quad (66)$$

$$i_{a0 К1} = \sqrt{2} \cdot 0,88 = 1,25 \text{ кА};$$

$$i_{a0K2} = \sqrt{2} \cdot I_{I0K2}; \quad (67)$$

$$i_{a0K2} = \sqrt{2} \cdot 1,19 = 1,7 \text{ кА}.$$

Демонстрация примера нахождения ударного тока КЗ в точках К-1 и К-2 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$i_{удK1} = i_{a0K1} \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}\right); \quad (68)$$

$$i_{удK1} = 1,25 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,025}}\right) = 2,1 \text{ кА};$$

$$i_{удK2} = i_{a0K2} \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}\right); \quad (69)$$

$$i_{удK2} = 1,7 \cdot \left(1 + e^{-\frac{0,01}{0,05}}\right) = 3,1 \text{ кА}.$$

По справочнику [26] упрощённо принимается $T_a=0,025$ с для шин 35 кВ ПС, $T_a=0,05$ с для шин 10 кВ ПС.

Искомые данные по токам КЗ на стороне 35 и 10 кВ ПС Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование тока КЗ по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 21.

Таблица 21 – Токи КЗ на ПС «Лохвицы»

Точка КЗ	К-1 35 кВ	К-2 10 кВ
I_{I0} , кА	0,88	1,19
I_{a0} , кА	1,25	1,7
T_a , с	0,025	0,05
$i_{уд}$, кА	2,1	3,1

8 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ

8.1 Выбор и проверка оборудования 0,4 кВ

8.1.1 Выбор и проверка автоматических выключателей для защиты линий 0,4 кВ

Фидера 0,4 кВ от коротких замыканий защищаются автоматическими выключателями ВА 57-35.

Демонстрация примера выбора автоматического выключателя 0,4 кВ по расчетному току для ф-1 ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{ном. расц}} \geq I_p, \quad (70)$$

$$50\text{А} \geq 40\text{А}$$

где I_p – максимальный рабочий ток линии 0,4 кВ ф-1 ТП 9-12.

$I_{\text{ном. расц}}$ - номинальный ток расцепителя автоматического выключателя 0,4 кВ ВА 57-35, 50 А.

Демонстрация примера проверки автоматического выключателя 0,4 кВ по отключающей способности для ф-1 ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{ПО}}^{(1)} \geq 1.25 \cdot I_{\text{СР РАСЦ}}, \quad (71)$$

$$100\text{А} \geq 1.25 \cdot 50\text{А},$$

$$100\text{А} \geq 63\text{А},$$

где $I_{\text{CP PASC}}$ - ток срабатывания расцепителя автоматического выключателя 0,4 кВ ВА 57-35, 50 А.

Демонстрация примера проверки автоматического выключателя 0,4 кВ по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ для ф-1 ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{по}}^{(3)} \leq I_{\text{отк.}}, \quad (72)$$

$$0,4 \text{ кА} \leq 5 \text{ кА},$$

где $I_{\text{отк.}}$ - ток отключения КЗ автоматического выключателя 0,4 кВ ВА 57-35, 5 кА.

Искомые данные по результатам выбора и проверки автоматических выключателей линий 0,4 кВ структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование фидеров по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 22.

Таблица 22 - Выбор и проверка автоматических выключателей линий 0,4 кВ

ВЛ/КЛ 0,4 кВ	I_p , А	Тип АВ	I_{PASC} , А	$I_{\text{по}}^{(3)}$, кА	$I_{\text{отк.}}$, кА	$I_{\text{по}}^{(1)}$, А	$I_{\text{CP PASC}}$, А	$1,25 \cdot I_{\text{CP PASC}}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТП 9-12								
ф-1	40	ВА 57-35	50	0,4	5,0	103	50	63
ф-2	52	ВА 57-35	63	0,6	5,0	148	63	79
ф-3	32	ВА 57-35	40	0,4	5,0	103	80	100
ф-4	65	ВА 57-35	80	0,7	5,0	187	80	100
ф-5	56	ВА 57-35	63	0,6	5,0	157	63	79
ВЛ	19	ВА 57-35	20	0,3	5,0	65	20	25
ТП 9-14								
ф-1	42	ВА 57-35	50	0,4	5,0	104	50	63
ф-2	44	ВА 57-35	50	0,5	5,0	267	200	250
ф-3	84	ВА 57-35	100	0,7	5,0	386	200	250
ВЛ	28	ВА 57-35	50	0,3	5,0	87	50	63
ТП 9-11								
ф-1	37	ВА 57-35	50	0,4	5,0	118	50	63

Продолжение таблицы 22

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ф-2	29	ВА 57-35	50	0,5	5,0	155	100	125
ф-2	38	ВА 57-35	50	0,4	5,0	107	50	63
ВЛ	12	ВА 57-35	16	0,3	5,0	69	32	40
ТП 9-01								
ф-1	35	ВА 57-35	50	0,4	5,0	102	50	63
ф-2	59	ВА 57-35	63	0,6	5,0	151	63	79
ф-3	97	ВА 57-35	100	0,8	5,0	243	100	125
ф-4	42	ВА 57-35	50	0,4	5,0	109	50	63
ВЛ	23	ВА 57-35	50	0,3	5,0	85	50	63
ТП 9-06								
ф-1	47	ВА 57-35	50	0,4	5,0	121	50	63
ф-2	41	ВА 57-35	50	0,4	5,0	102	50	63
ф-3	50	ВА 57-35	63	0,5	5,0	133	63	79
ф-2	51	ВА 57-35	63	0,5	5,0	136	63	79
ВЛ	35	ВА 57-35	50	0,4	5,0	98	50	63
ТП 9-07								
ф-1	63	ВА 57-35	100	0,6	5,0	159	100	125
ф-2	88	ВА 57-35	100	0,8	5,0	191	100	125
ВЛ	20	ВА 57-35	50	0,2	5,0	55	50	63
ТП 9-03								
ф-1	43	ВА 57-35	50	0,4	5,0	110	50	63
ф-2	90	ВА 57-35	100	0,9	5,0	243	100	125
ф-2	60	ВА 57-35	80	0,5	5,0	152	80	100
ВЛ	21	ВА 57-35	50	0,3	5,0	81	50	63

8.1.2 Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ для защиты шин 0,4 кВ трансформаторных подстанций

Ввода 0,4 кВ ТП от коротких замыканий защищаются автоматическими выключателями ВА 57-35.

Демонстрация примера расчёта максимального тока автоматического выключателя 0,4 кВ для ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H} ; \quad (73)$$

$$I_p = \frac{149}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 216 \text{ A.}$$

Демонстрация примера выбора автоматического выключателя 0,4 кВ по расчетному току для ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{ном. расц}} \geq I_p, \quad (74)$$

$$250 \text{ A} \geq 216 \text{ A.}$$

Демонстрация примера проверки автоматического выключателя 0,4 кВ по чувствительности к токам КЗ для ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{ПО}}^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{\text{СР РАСЦ}}, \quad (75)$$

$$1945 \text{ A} \geq 1,25 \cdot 250 \cdot 4 \text{ A},$$

$$1945 \text{ A} \geq 1250 \text{ A.}$$

Демонстрация примера проверки автоматического выключателя 0,4 кВ по разрушающему действию трёхфазных токов для ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{ПО}}^{(3)} \leq I_{\text{отк.}}, \quad (76)$$

$$4,45 \text{ кА} \leq 10 \text{ кА.}$$

Искомые данные по результатам выбора и проверки автоматических выключателей 0,4 кВ вводов ТП структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 23.

Таблица 23 - Выбор автоматических выключателей 0,4 кВ

ТП	$I_{P \text{ АВТ}}, A$	$I_{\text{ном. расц}}, A$	Марка выключателя	$I^{(3)}_{\text{по}}, \text{кА}$	$I_{\text{отк}}, \text{кА}$	$I^{(1)}_{\text{по}}, A$	$1,25 \cdot I_{\text{ср расц}}, A$
ТП 9-12	216	250	ВА57-35	4,45	10	1945	1250
ТП 9-14	172	250	ВА57-35	3,32	10	1387	625
ТП 9-11	99	160	ВА57-35	2,26	10	910	800
ТП 9-01	111	160	ВА57-35	3,27	10	1385	1200
ТП 9-06	183	250	ВА57-35	3,19	10	1387	1250
ТП 9-07	157	160	ВА57-35	3,09	10	1385	1200
ТП 9-03	192	250	ВА57-35	3,80	10	1945	1250

Выбор и проверка автоматических выключателей 0,4 кВ ВА 57-35 окончен, все условия соблюдаются.

8.2 Выбор и проверка оборудования 10 кВ

8.2.1 Выбор предохранителей для защиты трансформаторов ТП

Демонстрация примера расчёта максимального тока предохранителя 10 кВ для ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{РАСЧ}} = \frac{S_{\text{ТП}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}; \quad (77)$$

$$I_{\text{РАСЧ}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14 \text{ A} .$$

Выбор предохранителей 10 кВ по расчетному току для ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{НОМ ПР}} \geq I_{\text{ВСТ}} \geq I_{\text{р}}, \quad (78)$$

$$20 \text{ A} \geq 20 \text{ A} \geq 14 \text{ A},$$

где $I_{\text{номПР}}$ – номинальный ток патрона предохранителя ПКТ101 – 10У1, 20 А.

$I_{\text{номВСТ}}$ – номинальный ток вставки предохранителя ПКТ101 – 10У1, 20 А.

Проверка предохранителей 10 кВ по току отключения КЗ для ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{отк}} \geq I^{(3)}_{\text{по}}, \quad (79)$$

$$20 \text{ кА} \geq 7,56 \text{ кА}.$$

Искомые данные по результатам выбора и проверки предохранителей 10 кВ ТП структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 24.

Таблица 24 – Выбор и проверка предохранителей 10 кВ ТП

№ ТП	$I_{\text{номПР}}, \text{ A}$	$I_{\text{ВСТ}}, \text{ A}$	$I_{\text{РАСЧ}}, \text{ A}$	$I_{\text{отк}}, \text{ кА}$	$I^{(3)}_{\text{по}}, \text{ кА}$	Тип предохранителя
ТП 9-12	20	20	14	20	7,56	ПКТ101 – 10У1
ТП 9-14	20	10	9	20	4,51	ПКТ101 – 10У1
ТП 9-11	20	6	6	20	3,13	ПКТ101 – 10У1
ТП 9-01	20	10	9	20	3,82	ПКТ101 – 10У1
ТП 9-06	20	10	9	20	2,77	ПКТ101 – 10У1
ТП 9-07	20	10	9	20	2,13	ПКТ101 – 10У1
ТП 9-03	20	20	14	20	1,67	ПКТ101 – 10У1

Выбор и проверка предохранителей 10 кВ ПКТ101 – 10У1 окончены, все условия соблюдаются.

8.2.2 Выбор трансформаторов тока

Выбор трансформаторов тока 10 кВ по напряжению установки для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (80)$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Выбор трансформаторов тока 10 кВ по расчетному току для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{норм} \leq I_{1ном}, \quad (81)$$

$$15 \text{ А} \leq 50 \text{ А},$$

Проверка трансформаторов тока 10 кВ по электродинамической стойкости для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{дин} \geq I_{уд}; \quad (82)$$

$$15 \text{ кА} \geq 5,1 \text{ кА}.$$

Проверка трансформаторов тока 10 кВ по термической стойкости для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанным формулам, позволяющим делать подобный расчёт:

$$B_K = I_{н.о. PV 10 \text{ кВ}}^2 \cdot (t_{отк} + T_{A1}); \quad (83)$$

$$B_K = 1,19^2 \cdot (0,045 + 0,01 + 2) = 3 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_{HK} = I_T^2 \cdot t_T ; \quad (84)$$

$$B_{HK} = 2,47^2 \cdot 3 = 18 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_{KH} \geq B_{кр}; \quad (85)$$

$$18 \text{ кА}^2\text{с} \geq 3 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Предварительным этапом проверки вторичной нагрузки трансформаторов тока является составление таблицы нагрузок вторичных цепей, таблица 25.

Таблица 25 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 10 кВ

Прибор	Тип	Нагрузка фазы, ВА		
		А	В	С
Амперметр	Э-365		0.55	
Счетчик АЭ и РЭ	Меркурий 230 AR-00	0.2		0.2
Ватметр	Ц-1428	0.6		0.6
Варметр	Ц-1628	0.6		0.6
Итого		1.4	0.55	1.4

Показательный расчёт вторичной нагрузки приборов трансформаторов тока 10 кВ обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2}; \quad (86)$$

$$r_{приб} = \frac{1.4}{5^2} = 0.056 \text{ Ом}.$$

где $S_{ПРИБ}$ – нагрузка приборов во вторичной цепи по таблице 26 по наиболее загруженным фазам;

I_2 – вторичный номинальный ток, 5 А.

Показательный расчёт вторичной номинальной нагрузки трансформаторов тока 10 кВ обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$Z_{2H} = \frac{S_{2H}}{I_2^2}; \quad (87)$$

$$Z_{2H} = \frac{5}{5^2} = 0.2 \text{ Ом.}$$

где S_{2H} – вторичная номинальная нагрузка трансформаторов тока ТОЛ-10-1 классом точности 0,5S, 5 ВА.

Показательный расчёт вторичной нагрузки соединительных проводов трансформаторов тока 10 кВ обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$r_{пр} = \frac{\rho \cdot l}{q}; \quad (88)$$

$$r_{пр} = \frac{0.0283 \cdot 5}{4} = 0.035 \text{ Ом;}$$

где q – сечение жил проводов коммутации, 4 мм² АКРВГ (4x1);

ρ – удельное сопротивление в расчёте на площадь сечения, 0,0283 Ом·м/мм²;

l - протяженность проводов коммутации приборов вторичной цепи, 5 м.

Показательный расчёт общего сопротивления вторичной нагрузки трансформаторов тока 10 кВ обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$r_2 = r_{\text{конт}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{приб}}; \quad (89)$$

$$r_2 = 0.1 + 0.035 + 0.056 = 0.191 \text{ Ом},$$

где $r_{\text{конт}}$ - сопротивление контактов, 0.1 Ом.

Проверка трансформаторов тока 10 кВ по вторичной нагрузке для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанным формулам, позволяющим делать подобный расчёт:

$$R_2 \leq R_{2\text{НОМ}}, \quad (90)$$

$$0.191 \text{ Ом} \leq 0,4 \text{ Ом},$$

где $R_{2\text{НОМ}}$ – номинальная вторичная нагрузка трансформаторов тока ТОЛ-10-1 классом точности 0,5S, 0,4 Ом.

Искомые данные по результатам выбора и проверки трансформаторов тока 10 кВ структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование условий по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 26.

Таблица 26 – Выбор трансформатора тока 10 кВ для РУ 10 кВ

Каталожные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{уст}}$
$I_{\text{Н}} = 50 \text{ А}$	$I_{\text{Рл1}} = 28 \text{ А}$ $I_{\text{Рл2}} = 15 \text{ А}$ $I_{\text{Р авар}} = 39 \text{ А}$	$I_{\text{Н}} \geq I_{\text{Рmax}}$
$Z_{2\text{Н}} = 0.4 \text{ Ом}$ (для класса точности 0.5S)	$Z_{\text{Нр}} = 0.191 \text{ Ом}$	$Z_{2\text{Н}} \geq Z_{\text{Нр}}$
$V_{\text{КН}} = 18 \text{ кА}^2\text{с}$	$V_{\text{Кр}} = 3 \text{ кА}^2\text{с}$	$V_{\text{КН}} \geq V_{\text{Кр}}$
$I_{\text{ДИН}} = 15 \text{ кА}$	$I_{\text{уд}} = 3,1 \text{ кА}$	$I_{\text{ДИН}} \geq I_{\text{уд}}$

Выбор и проверка трансформаторов тока ТОЛ-10-1 классом точности 0,5S окончены, все условия соблюдаются [27].

8.2.3 Выбор трансформатора напряжения

Выбор трансформаторов напряжения 10 кВ по напряжению установки для каждой секции шин ПС Лохвицы обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Предварительным этапом проверки вторичной нагрузки трансформаторов напряжения является составление таблицы нагрузок вторичных цепей, таблица 27.

Таблица 27 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 10 кВ

Прибор	Тип	Потребляемая мощность одной катушки, ВА	Число катушек	Cos φ	Sin φ	P _{приб} , Вт	Q _{приб} , ВА
Вольтметр	Э-365	2	1	1	0	2	-
Ватметр	Ц-1428	1,5	2	1	0	3	-
Счетчик АЭ	Меркурий 230 AR-00	3.6 Вт	5	0.38	0.925	18	43.8
Счетчик РЭ	Меркурий 230 AR-00	3.6 Вт	5	0.38	0.925	18	43.8
Итого	-	-	-	-	-	36	87.6

Показательный расчёт общего сопротивления вторичной нагрузки трансформаторов напряжения 10 кВ обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2}, \quad (91)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{36^2 + 87,6^2} = 94,7 \text{ ВА}$$

Проверка трансформаторов напряжения 10 кВ по вторичной нагрузке для каждой секции шин ПС Лохвицы обеспечивается использованием исходной информации и указанным формулам, позволяющим делать подобный расчёт:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном}, \quad (92)$$

$$94,7 \text{ ВА} \leq 150 \text{ ВА},$$

где $S_{\text{ном}}$ – номинальная вторичная нагрузка трансформаторов напряжения НАЛИ-10У3 классом точности 0,5S, 150 ВА.

Искомые данные по результатам выбора и проверки трансформаторов напряжения 10 кВ структурированы в виде табличного поля, показывающего наименования условий по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 28.

Таблица 28 – Выбор трансформатора напряжения 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $S_{\text{р}} = 94,7 \text{ ВА}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$ $S_{\text{н}} = 150 \text{ ВА}$ (для класса точности 0,5S)	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$ $S_{\text{н}} \geq S_{\text{р}}$

Выбор и проверка трансформаторов напряжения НАЛИ-10-У3 классом точности 0,5S окончены, все условия соблюдаются [27].

8.2.4 Выбор выключателей нагрузки

Выбор выключателей нагрузки 10 кВ по напряжению установки обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Выбор выключателей нагрузки 10 кВ по расчетному току для ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р}},$$

$$400 \text{ А} \geq 14 \text{ А},$$

где $I_{ном}$ – номинальный ток выключателя нагрузки ВПП-400/10, 400 А.

Проверка выключателей нагрузки 10 кВ по электродинамической стойкости для ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{дин} \geq I_{уд};$$

$$30 \text{ кА} \geq 7,56 \text{ кА}.$$

Проверка выключателей нагрузки 10 кВ по термической стойкости для ТП 9-12 обеспечивается использованием исходной информации и указанным формулам, позволяющим делать подобный расчёт:

$$B_{к} = I_{но.ТП9-12}^{(3)2} \cdot (t_{отк} + t_{неч} + T_a);$$

$$B_{к} = 7,56^2 \cdot (0,5 + 0,5 + 0,015) = 57,3 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_{Кном} = I_{терм}^2 \cdot t_{терм};$$

$$B_{Кном} = 10^2 \cdot 4 = 400 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{Кн} \geq B_{кр};$$

$$400 \text{ кА}^2\text{с} \geq 57,3 \text{ кА}^2\text{с},$$

где $t_{неч}$ - время, обусловленное нечувствительностью предохранителя в составе выключателя нагрузки 0,5 с;

$t_{отк}$ - собственное время отключения выключателя, 0.5с.

Искомые данные по результатам выбора и проверки выключателей нагрузки 10 кВ ТП села Лохвицы структурированы в виде табличного поля, по-

казывающего наименования ТП по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 29.

Таблица 29 – Выбор и проверка выключателей нагрузки 10 кВ

№ ТП	I_P ТП, А	I_N , А	$I^{(3)}_{по}$, кА	$t_{отк}$, с	$t_{неч}$, с	T_a , с	$W_{кр}$, кА ² с	$W_{кн}$, кА ² с	$I_{уд}$, кА	$I_{дин}$, кА
ТП 9-12	14	400	7,56	0,5	0,5	0,004	57,3	400	7,56	30
ТП 9-14	9	400	4,51	1,0	0,5	0,007	30,6	400	4,51	30
ТП 9-11	6	400	3,13	1,5	0,5	0,011	19,7	400	3,13	30
ТП 9-01	9	400	3,82	0,5	0,5	0,009	14,7	400	3,82	30
ТП 9-06	9	400	2,77	1,0	0,5	0,013	11,6	400	2,77	30
ТП 9-07	9	400	2,13	2,0	0,5	0,017	11,4	400	2,13	30
ТП 9-03	14	400	1,67	2,5	0,5	0,022	8,5	400	1,67	30

Выбор и проверка выключателей нагрузки ВМП - 10/400 окончены, все условия соблюдаются [18].

8.2.5 Выбор комплектного распределительного устройства

Распределительное устройство 10 кВ на ПС «Лохвицы» реконструируется в части замены линейных ячеек КРУН К-37 и К-47 с устаревшим оборудованием на современные ячейки КРУ компании «Таврида-электрик» марки D-12P в составе строительной конструкции высокой готовности СКР.

Выбор КРУ 10 кВ по напряжению установки обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 12 \text{ кВ}.$$

Выбор КРУ 10 кВ по расчетному току для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}},$$

$$630 \text{ A} \geq 15 \text{ A},$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток линейной ячейки КРУ D-12P, 630 А.

Проверка КРУ 10 кВ по электродинамической стойкости для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}};$$

$$32 \text{ кА} \geq 3,1 \text{ кА}.$$

Проверка КРУ 10 кВ по термической стойкости для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанным формулам, позволяющим делать подобный расчёт:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{н.о.РУ10кВ}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_{\text{А1}});$$

$$B_{\text{к}} = 1,19^2 \cdot (0,045 + 0,01 + 2) = 3 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{\text{Кном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}};$$

$$B_{\text{Кном}} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_{\text{Кн}} \geq B_{\text{кр}};$$

$$1600 \text{ кА}^2\text{с} \geq 3 \text{ кА}^2\text{с},$$

Искомые данные по результатам выбора и проверки КРУ 10 кВ ПС Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование условий по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 30.

Таблица 30 – Выбор и проверка КРУ 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 12 \text{ кВ}$ $I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$ $i_{\text{скв}} = 32 \text{ кА}$ $B_{\text{к.ном}} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{макс л1}} = 28 \text{ А}$ $I_{\text{макс л2}} = 15 \text{ А}$ $I_{\text{р авар}} = 39 \text{ А}$ $i_{\text{уд}} = 3,1 \text{ кА}$ $B_{\text{к}} = 3 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{макс}}$ $i_{\text{скв}} \geq i_{\text{уд}}$ $B_{\text{к.ном}} \geq B_{\text{к}}$

Выбор и проверка КРУ D-12P окончены, все условия соблюдаются [27].

8.2.6 Выбор выключателей 10 кВ

Коммутационные аппараты 10 кВ на ПС «Лохвицы» реконструируется в части замены маломасляных выключателей ВМПП-10 (2СШ), ВК-10 (1СШ) на вакуумные компании «Таврида-электрик» марки ВВ/Те1-10–12,5-20/630 УХЛ2 в составе КРУ 10 кВ D-12P.

Выбор выключателей 10 кВ по напряжению установки обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 12 \text{ кВ}.$$

Выбор выключателей 10 кВ по расчетному току для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р}},$$

$$630 \text{ A} \geq 15 \text{ A},$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток выключателя ВВ/Тел-10–12,5-20/630 УХЛ2, 630 А.

Проверка выключателей 10 кВ по электродинамической стойкости для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{дин}} \geq I_{\text{уд}};$$

$$32 \text{ кА} \geq 3,1 \text{ кА}.$$

Проверка выключателей 10 кВ по термической стойкости для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанным формулам, позволяющим делать подобный расчёт:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{н.о.РУ10кВ}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_{\text{А1}});$$

$$B_{\text{к}} = 1,19^2 \cdot (0,045 + 0,01 + 2) = 3 \text{ кА}^2\text{с},$$

$$B_{\text{Кном}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}};$$

$$B_{\text{Кном}} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2\text{с};$$

$$B_{\text{Кн}} \geq B_{\text{кр}};$$

$$1600 \text{ кА}^2\text{с} \geq 3 \text{ кА}^2\text{с},$$

Проверка выключателей 10 кВ по отключающей способности для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{вкл}} \geq I_{\text{по}};$$

$$12,5 \text{ кА} \geq 1,2 \text{ кА}.$$

Проверка выключателей 10 кВ по отключающей способности апериодической составляющей для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot \beta_{\text{н}} \cdot I_{\text{ном откл}}; \quad (93)$$

$$i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot 0,4 \cdot 20 = 11,31 \text{ кА},$$

$$i_{\text{а.ном}} \geq i_{\text{ат}};$$

$$11,31 \text{ кА} \geq 1,7 \text{ кА};$$

где $\beta_{\text{н}}$ – для выключателя ВВ/Tel-10–12,5-20/630 УХЛ2 40%;

$I_{\text{ном откл}}$ – номинальный ток отключения выключателя ВВ/Tel-10–12,5-20/630 УХЛ2, 20 кА.

Проверка выключателей 10 кВ по отключающей способности полного тока КЗ для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$\sqrt{2} \cdot I_{\text{но PY10кВ}}^{(3)} + i_{\text{атПС}} \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{НОМОТК}} \cdot \left(1 + \frac{\beta_{\text{н}}}{100}\right); \quad (94)$$

$$\sqrt{2} \cdot 1,19 + 1,7 \cdot 0,54 \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{0,40}{100}\right);$$

$$2,6 \leq 39,59 \text{ кА.}$$

Искомые данные по результатам выбора и проверки выключателей 10 кВ ПС Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименования условий по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 31.

Таблица 31 – Выбор и проверка выключателей 10 кВ

Справочные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_{\text{НОМ}} = 12 \text{ кВ}$ $I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}$ $i_{\text{СКВ}} = 32 \text{ кА}$ $B_{\text{к.НОМ}} = 1600 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{ВКЛ}} = 12,5 \text{ кА}$ $I_{\text{ОТКЛ}} = 20 \text{ кА}$ $i_{\text{а.НОМ}} = 11,31 \text{ кА}$	$U_{\text{УСТ}} = 10 \text{ кВ}$ $I_{\text{МАКС л1}} = 28 \text{ А}$ $I_{\text{МАКС л2}} = 15 \text{ А}$ $I_{\text{Р авар}} = 39 \text{ А}$ $i_{\text{УД}} = 3,1 \text{ кА}$ $B_{\text{к}} = 3 \text{ кА}^2\text{с}$ $I_{\text{ПО}} = 1,2 \text{ кА}$ $I_{\text{ПТ}} = 1,2 \text{ кА}$ $i_{\text{ат}} = 1,7 \text{ кА}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}$ $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{МАКС}}$ $i_{\text{СКВ}} \geq i_{\text{УД}}$ $B_{\text{к.НОМ}} \geq B_{\text{к}}$ $I_{\text{ВКЛ}} \geq I_{\text{ПО}}$ $I_{\text{ОТКЛ}} \geq I_{\text{ПТ}}$ $i_{\text{а.НОМ}} \geq i_{\text{ат}}$

Выбор и проверка выключателей 10 кВ ВВ/Тел-10–12,5-20/630 УХЛ-2 окончены, все условия соблюдаются [27].

8.2.7 Выбор жестких шин

Реконструкция КРУ 10 кВ ПС Лохвицы включает в себя установку линейных ячеек КРУ D-12Р с располагающейся внутри жесткой ошиновкой, выполненной алюминиевыми шинами прямоугольного сечения 60×8 мм² АДО.

Выбор жестких шин 10 кВ по расчетному току для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\max} \leq I_{\text{доп}}, \quad (95)$$

$$15 \text{ A} \leq 1025 \text{ A}.$$

Проверка жестких шин 10 кВ по термической стойкости для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{Bk}}{C}, \quad (96)$$

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{3 \cdot 10^6}}{91} = 19 \text{ мм}^2;$$

$$q \geq q_{\min}; \quad (97)$$

$$480 \text{ мм}^2 \geq 19 \text{ мм}^2.$$

Показательный расчёт момента инерции и сопротивления шин 10 кВ обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}; \quad (98)$$

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6}; \quad (99)$$

$$J = \frac{0.8 \cdot 6^3}{12} = 14.4 \text{ см}^4;$$

$$W = \frac{0.8^2 \cdot 6}{6} = 0,64 \text{ см}^3,$$

где b – ширина стороны шины, 8 мм или 0,8 см;

h – высота стороны шины, 60 мм или 6 см;

Проверка жестких шин 10 кВ по резонансным колебаниям для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$l^2 \leq \frac{173.2}{200} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}}; \quad (100)$$

$$l^2 \leq \frac{173.2}{200} \cdot \sqrt{\frac{14.4}{480}};$$

$$0,9 \text{ м} \leq 1,2 \text{ м},$$

где l - длина пролёта между осями опорных изоляторов, для КРУ D-12P 0,9 м;

q - поперечное сечение жестких шин КРУ, равное 480 мм².

Показательный расчёт напряжения материала шин 10 кВ обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{i_{уд}^2 \cdot l^2}{W \cdot a}, \quad (101)$$

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{3100^2 \cdot 0.9^2}{0.64 \cdot 0.45} = 0,5 \text{ МПа},$$

где a – пролет в поперечной плоскости между фазными шинами, для КРУ D-12P, 0,45 м.

Проверка жестких шин 10 кВ по механической прочности для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$\sigma_{\text{расч}} < \sigma_{\text{доп}}, \quad (102)$$

$$\sigma_{\text{доп}} \leq 0.7 \sigma_{\text{разр}}, \quad (103)$$

$$0,5 \text{ МПа} < 75 \text{ МПа},$$

$$0,5 \text{ МПа} \leq 0.7 \cdot 130 = 91 \text{ МПа}.$$

Искомые данные по результатам выбора и проверки шин 10 кВ ПС Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование условий по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 32.

Таблица 32 – Выбор и проверка жёстких шин 10 кВ

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$I_{\text{max}} = 39 \text{ А}$ $\sigma_{\text{расч}} = 0,5 \text{ МПа}$ $q_{\text{min}} = 19 \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}} = 1025 \text{ А}$ $\sigma_{\text{доп}} = 75 \text{ МПа}$ $q = 480 \text{ мм}^2$	$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{max}}$ $\sigma_{\text{доп}} \geq \sigma_{\text{расч}}$ $q \geq q_{\text{min}}$

Выбор и проверка жёстких шин 10 кВ АДО 60x8 окончены, все условия соблюдаются [27].

8.2.8 Выбор изоляторов

Выбор изоляторов 10 кВ по напряжению установки обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}};$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}.$$

Проверка изоляторов 10 кВ по механической прочности для линии 10 кВ питания ТП 9-01 - ТП 9-06 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{i_{уд}^2 \cdot l}{a} \cdot 10^{-7}, \quad (104)$$

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{3100^2 \cdot 0.9}{0.8} = 2 \text{ Н},$$

$$F_{доп} = 0.6 \cdot F_{разр}, \quad (105)$$

$$F_{доп} = 0.6 \cdot 3750 = 2250 \text{ Н}.$$

$$F_{доп} \geq F_{расч}; \quad (106)$$

$$2250 \text{ Н} \geq 2 \text{ Н}.$$

где l - длина пролёта между изоляторами КРУ D-12Р, 0,9 м;

a – межфазное расстояние между изоляторами КРУ D-12Р, 0,8 м;

Искомые данные по результатам выбора и проверки изоляторов 10 кВ ПС Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование условий по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 33.

Таблица 33 – Выбор опорных изоляторов 10 кВ

Расчётные данные	Справочные данные	Условия выбора
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} \geq U_{уст}$
$F_{расч} = 2 \text{ Н}$	$F_{доп} = 2250 \text{ Н}$	$F_{доп} \geq F_{расч}$

Выбор и проверка изоляторов 10 кВ ИО-10-3,75 УЗ окончены, все условия соблюдаются [27].

8.2.9 Выбор ограничителей перенапряжений

Показательный расчёт энергии поглощения ограничителей перенапряжения 10 кВ обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$\mathcal{E} = \frac{U - U_{ост}}{z} \cdot U_{ост} \cdot 2 \cdot T \cdot n, \quad (107)$$

$$\mathcal{E} = \frac{40 - 25,8}{200} \cdot 25,8 \cdot 2 \cdot 7,94 \cdot 10^{-2} \cdot 20 = 5,8 \text{ кДж},$$

где U - величина неограниченного перенапряжения, [15], 40 кВ;

$U_{ост}$ - остающееся напряжение для ОПН-10-УЗ.

z - волновое сопротивление провода, 200 Ом;

n - количество последовательных токовых импульсов;

T - время распространения волны.

Показательный расчёт времени распространения волны обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$T = \frac{l}{v}; \quad (108)$$

$$T = \frac{2500}{3,15 \cdot 10^8} \cdot 10^6 = 7,94 \text{ мкс};$$

где l - длина защищенного подхода для шин 10 кВ ПС Лохвицы;

v - скорость распространения волны.

Показательный расчёт удельной энергии поглощения ограничителей перенапряжения 10 кВ обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$\vartheta^* = \frac{\vartheta}{U_{ном}}, \quad (109)$$

$$\vartheta^* = \frac{5,8}{10} = 0,58 \text{ кВт/кВ.}$$

Используется ОПН-10 кВ первого класса энергоёмкости, так как удельная энергия поглощения менее 1.2 кДж/кВ [19].

9 КОМПЕНСАЦИЯ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Показательный расчёт емкостного тока сети 10 кВ обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_c = \frac{U_H \cdot L_{ВЛ}}{350}; \quad (110)$$

$$I_c = \frac{10 \cdot 5,4}{350} = 0,15 \text{ А.}$$

где U_H – номинальное напряжение сети, 10 кВ;

$L_{ВЛ}$ – суммарная длина воздушных линий, 5,4 км.

Проверка необходимости компенсации емкостного тока сети 10 кВ обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{с\text{ пувэ}} \geq I_c; \quad (111)$$

$$20 \text{ А} \geq 0,15 \text{ кА.}$$

где $I_{с\text{ пувэ}}$ – пороговое значение емкостного тока, выше которого необходима его компенсация, 20 А [37].

10 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Выбираются микропроцессорные блоки защиты «Сириус-Л» [24].

10.1 Токовая отсечка

Демонстрация примера расчёта коэффициента трансформации трансформаторов тока КРУ 10 кВ обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$n_T = I_{\text{НОМ1}} / I_{\text{НОМ2}}, \quad (112)$$

$$n_T = 50 / 5 = 10.$$

Демонстрация примера расчёта первичного тока срабатывания токовой отсечки линии 10 кВ ТП 9-12 – ТП 9-14 – ТП 9-11 – ТП 9-07 – ТП 9-03 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{с.з.}} = k_n \cdot I_{\text{к.мах}}^{(3)}, \quad (113)$$

$$I_{\text{с.з.}} = 7,56 \cdot 1,1 = 8,31 \text{ кА},$$

где k_n – коэффициент надежности, 1,1;

$I_{\text{к.мах}}^{(3)}$ – величина тока симметричного трехфазного короткого замыкания на шинах ТП 9-12.

Демонстрация примера расчёта чувствительности токовой отсечки линии 10 кВ ТП 9-12 – ТП 9-14 – ТП 9-11 – ТП 9-07 – ТП 9-03 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}}, \quad (114)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{1,46}{8,31} = 0,18 \leq 2,$$

где $I_{\text{кз}}^{(2)}$ – величина тока несимметричного двухфазного короткого замыкания на шинах ТП 9-03.

Демонстрация примера расчёта вторичного тока срабатывания токовой отсечки линии 10 кВ ТП 9-12 – ТП 9-14 – ТП 9-11 – ТП 9-07 – ТП 9-03 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{с.р.}} = k_{\text{сх}} \frac{I_{\text{с.з.}}}{n_{\text{т}}}. \quad (115)$$

$$I_{\text{с.р.}} = 1 \cdot \frac{8314}{10} = 831 \text{ A}.$$

Демонстрация примера расчёта выдержки времени срабатывания токовой отсечки линии 10 кВ ТП 9-12 – ТП 9-14 – ТП 9-11 – ТП 9-07 – ТП 9-03 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$t_{\text{тО}} = t_{\text{рзтО}} + \Delta t_{\text{тО}}. \quad (116)$$

$$t_{\text{тО}} = 0 + 0,5 = 0,5 \text{ с}.$$

Искомые данные по результатам расчёта токовой отсечки линий 10 кВ ПС Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование линий по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 34.

Таблица 34 – Расчёт токовой отсечки

Линия	$I_{(3)по}$, кА	$I_{(2)по}$, кА	$I_{лин}$, А	$I_{н тт}$, А	$I_{с.з.}$ кА	пт	$I_{с.р.}$ А	$K_{ч}$
ТП 12-14-11-07-03	7,56	1,46	28	50	8,314	10	831	0,18
ТП 01-06	3,82	2,41	19	50	4,198	10	420	0,57

10.3 Максимальная токовая защита линий

Демонстрация примера расчёта первичного тока срабатывания максимальной токовой защиты линии 10 кВ ТП 9-12 – ТП 9-14 – ТП 9-11 – ТП 9-07 – ТП 9-03 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{с.з.} = I_{раб.} \cdot k_H \cdot k_{с.з.} / k_{в} \quad (117)$$

$$I_{с.з.} = 0,2 \cdot 1,1 \cdot 1 / 0,95 = 0,232 \text{ кА.}$$

где k_H – коэффициент надежности, 1,1 [20];

$k_{с.з.}$ – коэффициент запуска двигателей, 1 [20];

$k_{в}$ – коэффициент возврата, 0,95 [20];

$I_{раб.}$ – максимальный рабочий ток защищаемой линии, А.

Демонстрация примера расчёта чувствительности максимальной токовой защиты линии 10 кВ ТП 9-12 – ТП 9-14 – ТП 9-11 – ТП 9-07 – ТП 9-03 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$K_{ч} = \frac{I_{кз}^{(2)}}{I_{с.з.}}, \quad (118)$$

$$K_{ч} = \frac{1,46}{0,23} = 6,3 \geq 1,5,$$

Демонстрация примера расчёта вторичного тока срабатывания максимальной токовой защиты линии 10 кВ ТП 9-12 – ТП 9-14 – ТП 9-11 – ТП 9-07 –

ТП 9-03 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{c.p.} = I_{c.з.} \cdot k_{cx} / n_T,$$

$$I_{c.p.} = 232 \cdot 1 / 10 = 23 \text{ А.}$$

где k_{cx} – коэффициент схемы, 1 [20];

Демонстрация примера расчёта выдержки времени срабатывания максимальной токовой защиты линии 10 кВ ТП 9-12 – ТП 9-14 – ТП 9-11 – ТП 9-07 – ТП 9-03 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$t_{MTЗ} = t_{TO} + t_{pзMTЗ} + \Delta t_{MTЗ}.$$

$$t_{MTЗ} = 0,01 + 0,5 + 0,5 = 1,01 \text{ с.}$$

Искомые данные по результатам расчёта максимальной токовой защиты линий 10 кВ ПС Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование линий по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 35.

Таблица 35 – Расчёт МТЗ

Линия	$I_{(2)по}$, кА	$I_{раб}$, А	$I_{н\ TТ}$, А	$I_{c.з.}$ кА	n_T	$I_{c.p.}$ А	$K_{ч}$
ТП 12-14-11-07-03	7,56	1,46	50	0,232	10	23	6,3
ТП 01-06	3,82	2,41	50	0,232	10	23	10,4

10.4 Защита от однофазных замыканий на землю

Демонстрация примера расчёта тока замыкания на землю линии 10 кВ ТП 9-12 – ТП 9-14 – ТП 9-11 – ТП 9-07 – ТП 9-03 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{повр.л}} = \frac{U_{\text{Н}} \cdot L_{\text{ВЛ}}}{350}; \quad (119)$$

$$I_{\text{повр.л}} = \frac{10 \cdot 3,4}{350} = 0,097 \text{ А.}$$

Демонстрация примера расчёта тока в первичной обмотке трансформатора нулевой последовательности линии 10 кВ ТП 9-12 – ТП 9-14 – ТП 9-11 – ТП 9-07 – ТП 9-03 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{ТНП.повр.л}} = I_{\text{ЗНЗ}} - I_{\text{повр.л}}, \quad (120)$$

$$I_{\text{ТНП.повр.л}} = 0,15 - 0,097 = 0,057.$$

где $I_{\text{ЗНЗ}}$ – суммарный емкостной ток сети, 0,15 А.

Демонстрация примера расчёта первичного тока срабатывания защиты от замыкания на землю линии 10 кВ ТП 9-12 – ТП 9-14 – ТП 9-11 – ТП 9-07 – ТП 9-03 обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$I_{\text{с.з.}} = I_{\text{ТНП.повр.л}} / k_{\text{ч}} \quad (121)$$

$$I_{\text{с.з.}} = 0,057 / 1,5 = 0,04.$$

Искомые данные по результатам расчёта защиты от замыкания на землю линий 10 кВ ПС Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименование линий 10 кВ по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 36.

Таблица 36 – Расчёт ЗНЗ

Линия	$I_{повр.л}, A$	$I_{ТНП.повр.л}, A$	$I_{с.з.}, A$	$t_{с.з.}, c$
ТП 12-14-11-07-03	0,097	0,057	0,04	0,5
ТП 01-06	0,057	0,097	0,06	0,5

10.5 Устройства автоматического включения резерва

Демонстрация примера расчёта напряжения срабатывания автоматики ввода резерва 10 кВ ПС Лохвицы обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт [22]:

$$U_{с.з.} = (0,25 \div 0,40) \cdot U_{НОМ} \quad (122)$$

$$U_{с.з.} = 0,4 \cdot 10000 = 400 \text{ В.}$$

Демонстрация примера расчёта выдержки времени срабатывания автоматики ввода резерва обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$t_{ABP} = t_{MT3} + t_{pzABP} + \Delta t_{ABP},$$

$$t_{ABP} = 1,01 + 0,01 + 0,5 = 1,52 \text{ с.}$$

10.6 Уставки срабатывания защит

Искомые данные по результатам расчёта выдержки времени комплектов защит линий 10 кВ ПС Лохвицы структурированы в виде табличного поля, показывающего наименования линий по строкам и найденные параметры по столбцам таблицы 37.

Таблица 37– Время срабатывания защит

Линия	ТО	MT3	ABP
ТП 12-14-11-07-03	0,5	1,01	1,52
ТП 01-06	0,5	1,01	1,52

11 ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Показательный расчёт стационарного сопротивления одного вертикального электрода обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$R_{ЭВ} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot 2 \cdot l_B} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot l_B \cdot (2 \cdot h_3 + l_B)}{d \cdot (4 \cdot h_3 + l_B)} \right], \quad (123)$$

$$R_{ЭВ} = \frac{150}{3,14 \cdot 2 \cdot 2} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot 2 \cdot (2 \cdot 0,3 + 2)}{0,02 \cdot (4 \cdot 0,3 + 2)} \right] = 69 \text{ Ом},$$

где l_B - длина вертикального электрода, м;

h_3 - глубина заложения заземлителя, м;

$\rho_{\text{грунт}}$ - удельное сопротивление грунта, для почвы по [19] принимаем 150 Ом·м;

d - диаметр электродов, м.

Показательный расчёт стационарного сопротивления одного горизонтального электрода обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$R_{ЭГ} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{\pi \cdot l} \cdot \ln \left[\frac{1,5 \cdot l}{\sqrt{2 \cdot d \cdot h_3}} \right], \quad (124)$$

$$R_{ЭГ} = \frac{150}{3,14 \cdot 2} \cdot \ln \left[\frac{1,5 \cdot 2}{\sqrt{2 \cdot 0,02 \cdot 0,3}} \right] = 24 \text{ Ом},$$

где l – длина горизонтальной полосы, м.

Показательный расчёт стационарного сопротивления заземлителя обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$R = \frac{R_{\text{ЭВ}} \cdot R_{\text{ЭГ}}}{\eta \cdot (n_B \cdot R_{\text{ЭГ}} + n_G \cdot R_{\text{ЭВ}})}, \quad (125)$$

$$R = \frac{69 \cdot 24}{0,75 \cdot (4 \cdot 24 + 8 \cdot 69)} = 3,4,$$

где $\eta = 0,75$ - коэффициент использования сложного заземлителя;

n_B - число вертикальных электродов;

n_G - число горизонтальных электродов;

Показательный расчёт импульсного сопротивления вертикального электрода обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$R_{uB} = \frac{\alpha_{uB} \cdot R_{\text{ЭВ}}}{\eta \cdot n_B}, \quad (126)$$

$$R_{uB} = \frac{1 \cdot 69}{0,75 \cdot 4} = 23,$$

где $\alpha_{uB} = 1$ - импульсный коэффициент вертикального электрода.

Показательный расчёт индуктивности горизонтального заземлителя обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$L_0 = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{l}{r} - 0,31 \right), \quad (127)$$

$$L_o = 0,2 \cdot \left(\ln \frac{4}{0,01} - 0,31 \right) = 1,14 \text{ мкГн/м.}$$

Показательный расчёт импульсного коэффициента протяженного заземлителя обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$\alpha_{u\Gamma} = 1 + \frac{L_o \cdot l}{3 \cdot \tau_\phi \cdot R_{\text{ЭГ}}}, \quad (128)$$

$$\alpha_{u\Gamma} = 1 + \frac{1,14 \cdot 4}{3 \cdot 2 \cdot 24} = 1,03,$$

где $\tau_\phi = 2 \text{ мкс}$ - длительность фронта тока молнии.

Показательный расчёт импульсного сопротивления протяженного электрода обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$R_{u\Gamma} = \alpha_u \cdot R_{\text{ЭГ}}, \quad (129)$$

$$R_{u\Gamma} = 1,03 \cdot 23 = 25 \text{ Ом.}$$

Показательный расчёт импульсного сопротивления заземлителя обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$R_u = \frac{R_{u\Gamma} \cdot R_{uB}}{\eta_u \cdot (n_B \cdot R_{u\Gamma} + n_\Gamma \cdot R_{uB})}, \quad (130)$$

$$R_u = \frac{25 \cdot 23}{0,75 \cdot (4 \cdot 25 + 8 \cdot 23)} = 2,7 \text{ Ом.}$$

Вертикальные электроды количеством 4 шт, длиной 2 м, диаметром 20 мм закладываем на глубину 0,2 м, соединяем между собой электродами того же диаметра.

Проверка условия электробезопасности при прикосновении к токоведущим частям КТП обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$R_{C\text{ пвэ}} \geq R; \quad (131)$$

$$4 \text{ Ом} \geq 3,4 \text{ Ом}.$$

где $R_{C\text{ пвэ}}$ – пороговое значение сопротивления стационарного заземлителя, 4 Ом [37].

Проверка условия импульсной молниезащиты КТП обеспечивается использованием исходной информации и указанной формулы, позволяющей делать подобный расчёт:

$$R_{и\text{ пвэ}} \geq R_{и}; \quad (132)$$

$$9 \text{ Ом} \geq 2,7 \text{ Ом}.$$

где $R_{и\text{ пвэ}}$ – пороговое значение сопротивления импульсного заземлителя, 9 Ом [37].

12 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

12.1 Безопасность

Неизолированные провода воздушных линий 0,4-10 кВ села Лохвицы выработали свой нормативный срок эксплуатации, поэтому есть необходимость их замены на современные провода изолированной конструкции.

Так как в данной работе проводится реконструкция ВЛ 0,4-10 кВ с Лохвицы заменой проводов на самонесущие изолированные провода, к которым подключаются потребители жилой застройки села Лохвицы, то перечисляются основные правила по их прокладке и эксплуатации.

Выполнение работ по реконструкции системы электроснабжения напряжением 10-0,4 кВ села Лохвицы Белогорского района Амурской области должно быть организовано с соблюдением мер безопасности при монтаже и эксплуатации воздушных изолированных линий [34].

При приемке в эксплуатацию реконструируемых ВЛ села Лохвицы проводятся испытания в соответствии с требованиями [34].

Сооружение ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы осуществляется с применением специальной арматуры:

- анкерная арматура по типу зажим анкерный РА1500, зажим поддерживающий SO270, зажим прокалывающий ЗПА/Р2Rх95, зажим плашечный ПА-1-1. колпачок изолирующий СЕСТ 6-35 мм²;

- удерживающая арматура по типу кронштейн анкерный СА1500, ролик РМ-1-50, захват-чулок проходной открытый;

- режущие и сдавливающие приспособления по типу кабелерез, кардощетка, клинья отделительные, пресс гидравлический для опрессовки наконечников до 300 мм², матрицы СИП к прессу гидравлическому, нож для снятия изоляции, ножницы для резки стальной ленты, ножницы секторные НС-30.

Осмотры ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы выполняются в соответствии с графиком в дневное время. Для уточнения объемов работ, требуе-

мых материалов и оборудования выполняются осмотры ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы включенных в план ремонта на следующий год.

Обследуемое оборудование ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы при верховых осмотрах образует перечень, в который входят крюки, кронштейны, защитные кожухи и колпачки, поддерживающие, анкерные (концевые), соединительные и ответвительные зажимы. Изоляция проводов фаз и нулевого несущего провода подлежит тщательному смотру в том числе в местах установки зажимов, соединений провода с заземляющими проводниками.

Осмотр трассы ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы проводится вне графика после стихийных явлений (сверхрасчетные гололедные и ветровые нагрузки, ледоход и разливы рек на участках ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы, пожары вблизи ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы, ураганы, оползни и т.п.). Выявляемые дефекты и повреждения ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы, вызванных этими явлениями, а также повреждений, вызванных падением деревьев на провода и опоры оперативно отстраняются обслуживающим персоналом

Состояние железобетонных опор и приставок ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы проверяется для определения участков оголения арматуры, растрескивания бетона, недопустимого изгиба стойки.

Состояние заделки опор ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы в грунте проверяется для выявления увеличенных наклонов промежуточных опор и оценки прочности опор анкерного типа ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы.

Состояние заземления опор ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы проверяется для выявления повышенных значений сопротивления и разрушений заземляющего контура.

Состояние габаритов СИП ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы проверяется для выявления нарушений габаритов до земли, расстояний сближений и пересечений ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы, в том числе

нарушений расстояний в свету до стен и других элементов зданий и сооружений.

Величина сопротивления фаза-нуль ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы проверяется для выявления участков повышенного износа.

Ремонт ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы организуется не реже одного раза в 12 лет для ВЛ на железобетонных опорах. Перечень видов работ по техническому обслуживанию утверждается после плановых осмотров ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы и проводится по технологическим картам.

Ремонт ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы в части ревизии изоляции провода проводится под строгим контролем целостности изолирующего покрытия жил и принимаются меры, исключающие его повреждение.

Завершающим этапом ремонта ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы является приемка выполненных работ, при которой организуется визуальная проверка ранее проблемных участков, на которых проверяется целостность изолирующего покрытия жил проводов. Обнаруженные недостатки ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы фиксируются и заносятся в акт приёмо-сдаточных испытаний.

Замечания, выявленные эксплуатационным персоналом в ходе реконструкции ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы дополнительно фиксируются и устраняются при техническом надзоре.

В ходе реконструкции ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы тщательно проверяются изоляционные покровы провода СИП, наличие и целостность защитных кожухов вспомогательной арматуры ВЛ, правильность установки и целостность натяжных, поддерживающих, соединительных, ответвительных и других видов зажимов для надёжного крепления проводов к опорам ВЛ.

Установка опор в ходе реконструкции ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы на фундаменты, которые не доведены до требуемой твердости и проектных размеров запрещена.

Установка опор в ходе реконструкции ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы на площадки с не полностью засыпанным грунтом запрещена.

Работы по установке опор ВЛ-0,4 кВ в системе электроснабжения села Лохвицы для безопасности персонала выполняются с применением специальных машин для подъема и перемещения опор, транспортных средств для доставки к месту установки опор, такелажа для крепления опор, оснастки для монтажа, инструмента и приспособлений для крепления проводов и арматуры.

Работы по установке опор ВЛ-0,4 кВ в системе электроснабжения села Лохвицы в зимнее время для безопасности персонала выполняются после расчистки от снега площадки в месте установки опоры на расстоянии, достаточном для беспрепятственного подхода к опоре и безопасного ведения работ.

Установка опор с использованием крана в ходе реконструкции ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы разрешена если грузоподъемность крана при соответствующем вылете стрелы больше массы поднимаемой опоры.

Установка опор с использованием крана в ходе реконструкции ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы разрешена угол подъема устанавливаемой опоры составляет 35 - 40°, при этом рабочий ход стрелы подъемного крана достаточен для соблюдения такого условия в течении всего процесса поднятия опоры.

Строповка опор с использованием крана в ходе реконструкции ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы разрешена выше центра тяжести при высоте поднятия комеля опоры над уровнем земли не менее 0,5 м.

Направление опор в котлован в ходе реконструкции ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы разрешено оттяжками, баграми и аналогичным вспомогательным инструментом, исключая контакт с руками работников.

Подъем опор с использованием крана в ходе реконструкции ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы запрещен, если комель опоры дополнительно загружен посторонними предметами или удерживается руками работников для устойчивого перевеса.

Подъем опор с использованием крана в ходе реконструкции ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы запрещен, если в зоне возможного их падения находятся работники или грузоподъемные механизмы.

Работы по вблизи опор ВЛ-0,4 кВ в системе электроснабжения села Лохвицы для безопасности персонала выполняются после полного ее подъема и опускания в котлован.

Подъем персонала на опоры ВЛ-0,4 кВ в системе электроснабжения села Лохвицы для безопасности разрешен после полного ее закрепления.

Установка опор с использованием крана в ходе реконструкции ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы запрещена, если машинисты кранов и лебедок не находятся на своих рабочих местах, что контролируется руководителем работ.

Установка опор с использованием крана в ходе реконструкции ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы запрещена, если не приняты меры для предотвращения соприкосновения подъемных тросов и расчалки с проходящим транспортом или в зоне подъема опоры отсутствуют сигнальщики.

Подъем опор с использованием крана в ходе реконструкции ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы запрещен, если на них отсутствует тормозной трос, блок для опускания стрелы и регулирующие растяжки.

Работы на опорах ВЛ-0,4 кВ в системе электроснабжения села Лохвицы для безопасности персонала выполняются только после закрепления предохранительного пояса к опоре.

Работы по вблизи опор ВЛ-0,4 кВ в системе электроснабжения села Лохвицы для безопасности персонала выполняются в условиях ясной видимости сигналов с необходимым количеством сигнальщиков.

Подъем опор с использованием крана в ходе реконструкции ВЛ-0,4 кВ жилой застройки села Лохвицы запрещен, если погодные условия сопровождаются ветром скоростью 10 - 12 м/с и выше.

12.2 Экологичность

Определяем отвод земель в селе Лохвицы под электрические сети в постоянное и во временное пользование.

Согласно [35], земельные участки для размещения опор воздушных линий электропередачи напряжением 0,38 – 1,0 кВ и опор линий связи, обслуживающих электрические сети, в постоянное пользование не предоставляются.

Расчёт площади земель, отводимых в постоянное пользование под размещение ТП села Лохвицы осуществляется по формуле, m^2 :

$$S_{ТПП} = S_{ТП1} \cdot n_{ТП1} + S_{ТП2} \cdot n_{ТП2}, \quad (133)$$

$$S_{ТПП} = 50 \cdot 6 + 80 \cdot 1 = 380,$$

где $S_{ТП1}$, $S_{ТП2}$ - площадь земли, отводимая под одно и двухтрансформаторную ТП, 50 и 80 m^2 соответственно, согласно [35], m^2 ;

$n_{ТП1}$, $n_{ТП2}$ - количество одно и двухтрансформаторных ТП соответственно, шт.

Расчёт площади земель, отводимых в постоянное пользование под размещение опор ВЛ-10 кВ села Лохвицы осуществляется по формуле [35], m^2 :

$$S_{оп} = A^2 + \pi \cdot \Delta^2 + 4 \cdot A \cdot \Delta, \quad (134)$$

$$S_{оп} = 0,265^2 + 3,14 \cdot 1,5^2 + 4 \cdot 0,265 \cdot 1,5 = 8,73,$$

$$S_{\text{по}} = S_{\text{оп}} \cdot n_{\text{оп}}, \quad (135)$$

$$S_{\text{по}} = 8,73 \cdot 77 = 673,$$

где $n_{\text{оп}}$, - количество опор под ВЛ 10 кВ, шт.

A – сторона основания опоры, для принятых опор 10 кВ 0,265 м по рисунку 8;

Δ - ширина полосы земли вокруг внешнего контура опоры ВЛ-10 кВ, для земель сельскохозяйственных принимается 1,5 м по [36].

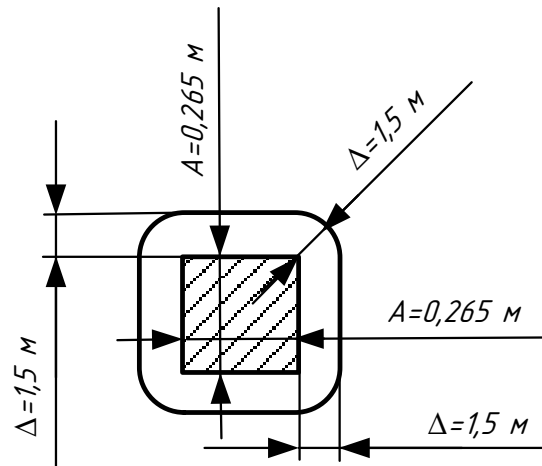


Рисунок 8 – Площадь основания опоры 10 кВ на уровне земли

Расчёт площади земель, отводимых в постоянное пользование под размещение опор ВЛ-10 кВ и ТП села Лохвицы осуществляется по формуле, м^2 :

$$S_{\text{ш}} = S_{\text{шп}} + S_{\text{по}}, \quad (136)$$

$$S_{\text{ш}} = 380 + 673 = 1053.$$

Реконструкция электрических сетей 10 кВ села Лохвицы связана с заменой проводов марки А и АС с деревянными стойками на изолированные провода СИП и железобетонные стойки опор, поэтому на период проведения реконструкции следует изъять земли во временное пользование [35].

Расчёт площади земель, отводимых во временное пользование под строительство ВЛ-10 кВ села Лохвицы осуществляется по формуле, m^2 :

$$S_{ВЛ} = L_{ВЛ10кВ} \cdot (l_{\phi-\phi} + 4), \quad (137)$$

$$S_{ВЛ} = 5400 \cdot (1,1 + 4) = 27540,$$

где $L_{ВЛ10кВ}$ - протяженность ВЛ-10 кВ села Лохвицы, m ;

$l_{\phi-\phi}$ - расстояние между крайними фазными проводами по рисунку 9, $1,1 m$.

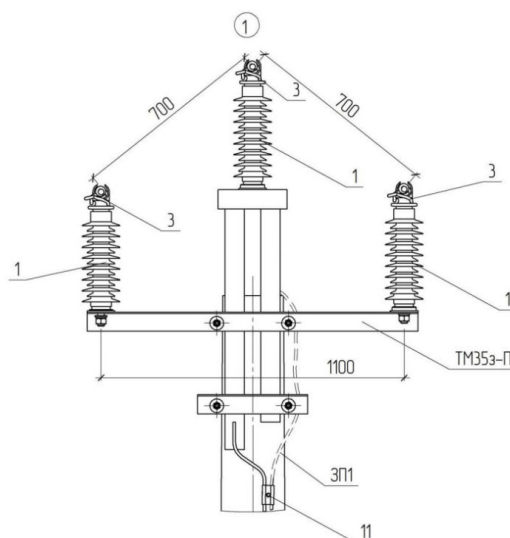


Рисунок 9 – Эскиз крепления проводов для промежуточной опоры ВЛИ-10 кВ

Расчёт площади земель, отводимых во временное пользование для монтажа опор ВЛ 10 кВ села Лохвицы осуществляется по формуле, m^2 :

$$S_{ВМП} = n_{ОП} \cdot S_{ОП10кВ}, \quad (138)$$

$$S_{ВМП} = 77 \cdot 150 = 11571,$$

где $S_{ОП10кВ}$ - площадь земельных участков, предоставляемая для монтажа опор ВЛ 10 кВ, согласно [35], $м^2$.

Расчёт площади земель, отводимых во временное пользование села Лохвицы осуществляется по формуле, $м^2$:

$$S_{ВП} = S_{ВМП} + S_{ВЛ}, \quad (139)$$

$$S_{ВП} = 27540 + 11571 = 39111.$$

В итоге расчётов получено, что площадь земель во временное пользование ($39111 м^2$) существенно превышает площадь земель, отведенных в постоянное пользование ($1053 м^2$).

12.3 Чрезвычайные ситуации

Трансформаторные подстанции (ТП) в системе электроснабжения села Лохвицы относятся к пожаровзрывоопасным объектам, поэтому возникновение возгорания на оборудовании ТП рассматривается как чрезвычайная ситуация.

В ходе тушения пожаров в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы, действия персонала, осуществляющего реконструкцию должны быть выполнены по порядку [38].

О возникновении пожара в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы в пожарную охрану докладывает первый обнаруживший возгорание работник из числа дежурного персонала или ремонтной бригады. После информирования о месте возгорания, адресе электроустановки и личных данных, работник должен приступить к тушению пожара с использованием имеющихся средств пожаротушения, если нет угрозы его жизни и здоровью.

Возможные пути распространения пожара в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы определяются старшим дежурным смены

электросетевого участка Белогорского района либо определяются по сообщениям работников из числа дежурной смены.

В ходе тушения пожаров в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы, дежурный смены электросетевого участка Белогорского района отдает необходимые распоряжения для обесточивания поврежденного или находящегося на пути распространения пожара оборудования, снятия напряжения с электроустановок, способствуя тем самым созданию безопасных условий тушения возгораний силами ремонтного персонала и подразделениям по борьбе с огнем.

В ходе тушения пожаров в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы, дежурный смены электросетевого участка Белогорского района информирует прибывающие подразделения по борьбе с огнем о наличии путей подъезда к месту возгорания и наличии источников водоснабжения, пожарных гидрантов, емкостей с водой.

В ходе тушения пожаров в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы, дежурный смены электросетевого участка Белогорского района является руководителем тушения пожара до момента прибытия пожарных подразделений, после чего руководство тушением пожара переходит старшему командиру пожарного подразделения.

Дежурный персонал электросетевого участка Белогорского района обязан отключить электроустановки в источнике и по близости от возгорания, если нет угрозы его жизни, при этом согласия работников, выполняющих оперативное руководство, на отключения не требуется. О проведенных отключениях поврежденного оборудования работников, выполняющих оперативное руководство, уведомляют позднее в обязательном порядке [39].

Пожарные подразделения перед тушением пожаров в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы, дежурный смены электросетевого участка Белогорского района получают инструктаж от старшего из работников технического персонала электросетевого участка Белогорского района и получают при этом письменное разрешение.

В ходе тушения пожаров в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы, старший из работников технического персонала электросетевого участка Белогорского района осуществляет координацию действий для скорейшей ликвидации возгорания.

Запрещено направление пожарных подразделений на тушение пожаров в действующие электроустановки системы электроснабжения села Лохвицы, остающиеся под напряжением.

Охрана территории при тушении пожаров в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы должна быть обеспечена на весь период действия пожарных подразделений.

Для быстрой ликвидации пожаров в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы, весь пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения располагаются в необходимом количестве в легко доступных местах расположения.

Для ликвидации пожаров в щитах управления, релейных панелях электроустановок системы электроснабжения села Лохвицы используются компактные струи воды.

Организация тренировок по тушению пожаров в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы, должна быть выполнена по требованиям [38].

Количество плановых тренировок по тушению пожаров в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы, в которых участвует каждый работник технического персонала электросетевого участка Белогорского района составляет минимум 1 раз в полугодие.

Количество плановых тренировок по тушению пожаров в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы, в которых участвует инженерно-технический и административный персонал составляет минимум 1 раз в год.

Количество плановых тренировок по тушению пожаров в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы, в которых участвует диспет-

черский персонал составляет минимум 1 раз в год на своем рабочем месте и минимум 1 раз в год на одной из действующей ТП 10/0,4 кВ.

Объектовые противопожарные тренировки в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы могут совмещаться с противоаварийными тренировками в рамках утвержденного графика тренировок. График объектовых противопожарных тренировок ежегодно составляется и утверждается главным инженером электросетевого участка Белогорского района, в случае совместных тренировок с пожарными подразделениями организуется согласование графика с начальником гарнизона пожарной охраны.

Объектовые противопожарные тренировки в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы организуются после предварительного ознакомления пожарных подразделений с особенностями электроустановок системы электроснабжения села Лохвицы.

Организация тренировок по тушению пожаров в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы включает в себя назначение руководителя тренировки и руководителя тушением пожара.

Объектовые противопожарные тренировки в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы проходят под руководством руководителя тренировки с организацией оперативного штаба пожаротушения.

При проведении объектовых противопожарных тренировок в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы отрабатывается взаимодействие инженерно-технических работников с руководителем тушения пожара, устанавливается перечень технологического оборудования, на котором проверяется соответствие мероприятий по технике безопасности наличию оборудования.

Объектовые противопожарные тренировки в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы проводят с использованием обозначений: очаг пожара - красные флажки; зона задымления - синие флажки; зона выделения вредных паров - желтыми флажками.

Имитация пожара на объектовых противопожарных тренировках в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы соответствует принципу наглядности и мобильности, так как наличие возможности для ее изменения в ходе тренировки на различных участках позволяет сделать определённые усложняющие или облегчающие факторы тренировки.

Имитация пожара на объектовых противопожарных тренировках в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы достигается дымовыми шашками, фонарями, подсвечивающими указателями, плакатами и иными материалами и оборудованием.

Объектовые противопожарные тренировки в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы соответствуют реальной обстановке возникновения пожара, учитывают состав и качество средств пожаротушения объекта.

Объектовые противопожарные тренировки в электроустановках системы электроснабжения села Лохвицы, которые выведены в ремонт или резерв, допускается использовать для демонстрации средств и систем пожаротушения при условии сохранения целостности оборудования и его эксплуатационных характеристик

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с заданием на проектирование рассмотрена необходимость и проведена реконструкция системы электроснабжения сёл, питающихся от ПС «Лохвицы» Белогорского РЭС.

Рассчитаны нагрузки потребителей сёл поэтапно:

- трёхфазный ввод потребителей,
- головные участки линий 0,4 кВ,
- шины ТП 0,4 кВ,
- шины ТП 10 кВ,
- головные участки линии 10 кВ,
- шины 10 кВ ПС «Лохвицы» - 619 кВт;

Для линий 0,4 кВ использован провод СИП-2 для исключения воровства электроэнергии, для линий 10 кВ – СИП – 3 для улучшения эксплуатационных характеристик сети 10 кВ.

Выбраны и проверены электрические аппараты и устройства - выключатели ВВ/TeI, ТТ - ТОЛ , ТН - НАЛИ, предохранители ПК, , автоматические выключатели ВА – 57-35, выключатели нагрузки ВМП-10/400. КРУ D-12Р.

Рассчитаны токи КЗ в соответствии с РД.

Выбраны провода СИП в сети 10-0,4 кВ для повышения надёжности функционирования сети 10-0,4 кВ.

Рассчитано стационарное и импульсное сопротивление заземления ТП, удовлетворяющее требованиям ПУЭ;

Рассмотрены вопросы безопасности при эксплуатации электрооборудования сетей в части организации защитного заземления при работах в электроустановках;

Приведены правила пожарной безопасности на электроустановках сетевого участка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Алиев, И. И. Электротехника и электрооборудование [Текст] : справ. / И. И. Алиев. - М. : Высш. шк., 2010. - 1200 с.
- 2 Карапетян И.Г., Файбисович Д.Л., Шапиро И.М. Справочник по проектированию электрических сетей. Под ред. Файбисовича Д.Л. - 4-е издание. - М.: изд-во НЦ ЭНАС, 2012. - 376 стр.
- 3 Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.-280 с: ил.
- 4 Инструкция по проектированию городских электрических сетей РД 34.20.385-94.
- 5 Коробов, Г. В. Электроснабжение. Курсовое проектирование [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / Г. В. Коробов, В. В. Картавцев, Н. А. Черемисинова ; под общ. ред. Г. В. Коробова. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб. : Лань, 2011. - 192 с.
- 6 Отчёт по преддипломной (производственной) практике, выполнил Студент 4 курса группа 842-узб Джабраилов С.К.-о., ФГБОУ ВО «АмГУ», 2022.
- 7 Приложение к постановлению комитета по ценам и тарифам Правительства Амурской области от 23.12.2021 №74/9-П.
- 8 Схема развития распределительных электрических сетей 35 кВ и выше Амурской области на период до 2025г. с учётом перспективы до 2030г. Проект – ОАО «Дальэнергосетьпроект», 2020 г.
- 9 Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение [Текст] : учеб. пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. - М. : РадиоСофт, 2012. - 328 с.
- 10 Гужов, Н. П. Системы электроснабжения [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / Н. П. Гужов, В. Я. Ольховский, Д. А. Павлюченко. - Ростов н/Д : Феникс, 2011. - 382 с.
- 11 Киреева Э.А., Цырук С.А. Электроснабжение жилых и общественных зданий. – М.:НТФ «Энергопресс», 2005. – 96 с.; ил.

12 ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения

13 Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РД 153-34.0-20.527-98. Утв. Департаментом стратегии развития и научно-технической политики 23.03.1998 г.

14 URL: <http://www.mnz1.ru/prod/261/index.html> (доступ от 20.05.2022)

15 Г.М. Иманов, Ф.Х. Халилов, А.И. Таджибаев. Методика выбора нелинейных ограничителей, необходимых для защиты изоляции сетей низкого, среднего, высокого и сверхвысокого напряжения трёхфазного переменного тока. ПЭИПК, г. Санкт-Петербург, 2004г.

16 URL: <http://www.electroshield.ru/catalog/properties/3/689/> (доступ от 10.05.2022)

17 Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии. Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др., - 8-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2012. — 964 с.

18 Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии. Утвержден приказом Минэнерго России от 23 июня 2015 г. № 380.

19 Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. С.-П.: Издательство ПЭИПК, 1999.

20 Беляков Ю.П. Козлов А.Н. Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем: Учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2010.– 132 с.

21 Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: Монография. М.А. Шабад. - СПб.: ПЭИПК, 2013. - 4-е изд., перераб. и доп. - 350 стр.. ил.

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

23 Балашов О.П. Электроснабжение. Учебное пособие. — Рубцовск: Рубцовский индустриальный институт, 2014. — 126 с.

24 Белых Г.Б., Шеметов А.Н. Электроснабжение отраслей. Учебное пособие. — Магнитогорск: МГТУ им. Г.Н. Носова, 2013. — 256 с. — ISBN 978-5-9967-0391-3

25 Беляевский Р.В. Нормативно-правовая база энергетики. Учебное пособие. — Кемерово: КузГТУ, 2011. — 168 с.

26 Кудрин Б.И., Жилин Б.В., Матюнина Ю.В. Электроснабжение потребителей и режимы. Учебное пособие. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2013. — 412 с.: ил.

27 Лыков Ю.Ф. Системы электроснабжения. Учебное пособие. — Самара: изд. Самарский государственный технический университет, 2014. — 35 с.

28 Маньков В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения. Справочное пособие. — СПб: НОУ ДПО «УМИТЦ «Электро Сервис», 2010 — 664 с.

29 URL: <http://www.kabtrade.ru> (доступ от 25.04.2022)

30 URL: <http://www.tavrida.ru> (дата обращения 15.03.2022)

31 URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%C1%EB%E0%E3%EE%E2E5%F9%E5%ED%F1%EA> (доступ от 20.05.2022)

32 URL: <http://www.admblag.ru/index.php/pages/genplan/> (доступ от 20.05.2022)

33 URL: <http://www.my-article.net/> (доступ от 20.05.2022)

34 Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок утв. Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года N 903н [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499037306>

35 Норма отвода земель для электрических сетей напряжением 0,38 – 750 кВ № 14278 ТМ – Т1.

36 Булгаков А.Б. Охрана окружающей среды в электроэнергетике [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Б. Булгаков ; АмГУ, ИФФ. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2020. - 90 с.

37 Правила устройства электроустановок/Министерство энергетики Российской Федерации. – 7-е изд. – М.: НЦ ЭНАС, 2012. – 648 с.

38 Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий : Руководящий документ РД-153.-34.0-03.301-00. - М. : ЗАО Энергетические технологии, 2000. - 116 с.

39 РД 34.12.202 (И 34-00-012-84) Инструкция по организации противопожарных тренировок на энергетических предприятиях и в организациях