

**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  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Разработка системы электроснабжения напряжением 10 кВ ООО  
«Амурпром» на территории опережающего развития «Амуро-Хинганская» в  
Еврейской автономной области

Исполнитель

студент группы 842-узб

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

И.С. Хаймурзин

Руководитель

профессор, канд.техн.наук

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Ю.В. Мясоедов

Консультант по безопасности  
и экологичности

доцент, канд.техн.наук

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль

ст. преподаватель

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Л.А. Мясоедова

Благовещенск 2023

**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 И.С. Хаймурзин

1. Тема выпускной квалификационной работы: Разработка системы электроснабжения напряжением 10 кВ ООО «Амурпром» на территории опережающего развития «Амуро-Хинганская» в Еврейской автономной области,  
(утверждена приказом от 03.04.2023г. №794)
2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) \_\_\_\_\_
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: перспективный план развития ТОР «Амуро-Хинганская», однолинейная схема системы электроснабжения напряжением 10 кВ с центром питания ПС Ленинское 110/35/10 кВ, схема и программа развития электроэнергетики Еврейской автономной области 2021-2025 годы, однолинейная схема ПС Ленинское 110/35/10.
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): характеристика района проектирования, расчет электрических нагрузок по предприятию в целом, выбор номинального напряжения питающей сети, выбор марки и сечения питающей линии, выбор типа пункта приёма электроэнергии, выбор однолинейной схемы распределительного пункта, определение места расположения распределительного пункта, выбор числа и мощности трансформаторов с учетом компенсации, реактивной мощности, компенсация реактивной мощности по комплексу в целом, проектирование системы внутреннего электроснабжения, расчет токов короткого замыкания, выбор и проверка оборудования 10 кВ, режимы нейтралей сетей, релейная защита и автоматика, заземление РП, анализ надежности предложенного варианта сети 10 кВ .
5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): картограмма нагрузок и план комплекса, варианты сети 10 кВ, однолинейная схема 10 кВ, микропроцессорная защита воздушной линии 10 кВ, однолинейная схема РП «Амурлес» и граф проектируемой сети 10 кВ, план и разрез РП «Амурлес»
6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов): Безопасность и экологичность – доцент, канд.техн.наук Булгаков А.Б.
7. Дата выдачи задания \_\_\_\_\_  
Руководитель выпускной квалификационной работы: профессор, канд.техн.наук Мясоедов Ю.В.

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

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 117 с, 15 рисунков, 27 таблиц, 30 использованных источников.

ТЕРРИТОРИЯ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО РАЗВИТИЯ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА, ЭЛЕКТРОПРИЕМНИК, ЦЕНТР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, КОМПЛЕКС ЛЕСОПЕРЕРАБОТКИ, КАБЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ, МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ЗАЩИТА, ПЛАВКАЯ ВСТАВКА, ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, НАПРЯЖЕНИЕ ПИТАНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬ, АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, СЕЛЕКТИВНОСТЬ ЗАЩИТ, ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ЗАЩИТ, УСТАВКА СРАБАТЫВАНИЯ,

Актуальность данной выпускной квалификационной работы заключается в том, что в ней уделено внимание развитию Еврейской автономной области в части организации подключения к электроснабжению резидента ТОР «АмуроХинганская». Цель выпускной квалификационной работы разработать систему электроснабжения потребителей комплекса ООО «Амурпром». Практическая значимость выпускной квалификационной работе заключается в разработке параметров системы электроснабжения подключаемого оборудования потребителя электроэнергии комплекса ООО «Амурпром» для того, чтобы реализовать концепцию устойчивого развития Еврейской автономной области.

В выпускной квалификационной работе проводится расчёт нагрузок в соответствии с заданием на бакалаврскую работу, определяются основные параметры силового оборудования, выполняется проверка выбранных аппаратов, обосновывается схема внутреннего электроснабжения по критерию минимума приведенных затрат, выбирается оборудование внутреннего электроснабжения комплекса.

## СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	6
Введение	7
1 Характеристика района проектирования	9
1.1 Характеристика производства и потребителей электроэнергии	9
1.2 Климатическая характеристика	11
2 Расчет электрических нагрузок по предприятию в целом	12
3 Выбор номинального напряжения питающей сети	18
4 Выбор марки и сечения питающей линии	19
5 Выбор типа пункта приёма электроэнергии	23
6 Выбор однолинейной схемы распределительного пункта	24
7 Определение места расположения распределительного пункта	25
8.Выбор числа и мощности трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности	28
9 Компенсация реактивной мощности по комплексу в целом	31
10 Проектирование системы внутреннего электроснабжения	34
10.1 Выбор номинального напряжения схемы внутреннего электроснабжения	34
10.2 Разработка схемы внутреннего электроснабжения	34
10.3 Техникоэкономическое сравнение вариантов схем внутреннего электроснабжения	39
11 Расчет токов короткого замыкания	41
11.1 Расчет токов короткого замыкания на шинах РП	41
11.2 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ	46
12 Выбор и проверка оборудования 10 кВ	51
12.1 Комплектное распределительное устройство 10 кВ	51
12.2 Выключатели 10 кВ	53

12.3	Трансформаторы тока 10 кВ	58	
12.4	Трансформаторы напряжения 10 кВ	63	
12.5	Шины 10 кВ	64	
12.6	Трансформаторы собственных нужд	69	
12.7	Предохранители 10 кВ ТСН	70	
12.8	Изоляторы 10 кВ	72	
12.9	Ограничители перенапряжения	73	
12.10	Проверка линий 10 кВ на воздействие токов КЗ	74	
12.11	Выключатели нагрузки 10 кВ	76	
12.12	Предохранители 10 кВ ТП	78	
13	Режимы нейтралей сетей	80	
14	Релейная защита и автоматика	81	
14.1	Токовая отсечка без выдержки времени	81	
14.2	Максимальная токовая защита линий	83	
14.3	Защита от однофазных замыканий на землю	85	
14.4	Устройства автоматического включения резерва	86	
15	Заземление РП	88	
16	Анализ надежности предложенного варианта сети 10 кВ	91	
17	Безопасность и экологичность	101	
17.1	Безопасность	101	
17.2	Экологичность	104	
17.3	Чрезвычайные ситуации	108	
	Заключение		112
	Библиографический список		113

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АВР – автоматическое включение резерва;

ВН – высокое напряжение;

КЗ – короткое замыкание;

КЛ – кабельная линия;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

МТЗ – максимальная токовая защита;

НБК – низковольтная батарея конденсаторов;

НН – низкое напряжение;

ОПН – ограничитель перенапряжения нелинейный;

ПС – подстанция;

РЗ - релейная защита;

ТН - трансформатор напряжения;

ТО – токовая отсечка;

ТОР - территория опережающего развития;

ТП – трансформаторная подстанция;

ТСН – трансформатор собственных нужд;

ТТ – трансформатор тока;

ЭДС – электродвижущая сила;

## ВВЕДЕНИЕ

ТОР «Амуру-Хинганская» представляет собой участок территории Еврейской автономной области, на которой организован правовой режим функционирования инфраструктуры с учётом особенностей налоговых льгот и платежей для того, чтобы процесс предпринимательской и иных видов деятельности был ориентирован на реализацию концепции развития региона. Соответствие выполняемых задач развития ТОР «Амуру-Хинганская» региональным программам развития позволит обеспечить условия, которые будут наилучшим образом способствовать заинтересованности инвесторов и обеспечат развитие социально-экономической сферы ускоренными темпами.

Актуальность данной выпускной квалификационной работы заключается в том, развитие электрических сетей Еврейской автономной области связано с необходимостью обеспечить электроснабжение резидента ТОР «Амуру-Хинганская» от действующих центров питания с минимальными затратами и высокими показателями надёжности.

Специализация ТОР «Амуру-Хинганская» заключается в реализации проектов в направлении сельского хозяйства, пищевой промышленности, логистики. Направление сельского хозяйства предусматривает разработку посевных площадей сои и лесопереработки.

Одним из ключевых инвесторов ТОР «Амуру-Хинганская» является ООО «Амурпром», в результате деятельности которого проводится строительство завода, занятого в сортировке и глубокой переработке сои и организация предприятия, выполняющего заготовку и переработку древесины.

Перспективным планом развития ТОР «Амуру-Хинганская» в части развития объектов электроэнергетической инфраструктуры ТОР будет построено 6 объектов электроснабжения ПС110/35/10 кВ.

Для того, чтобы реализовать потенциал инвестиционного проекта ТОР «Амуру-Хинганская» в направлении резидента ООО «Амурпром» проводится

разработка возможности подключения заявленной нагрузки резидента к существующим центрам питания в районе расположения цехов и производств резидента ООО «Амурпром».

Объектом исследования в представленной выпускной квалификационной работе является лесоперерабатывающий комплекс ООО «Амурпром». Предметом исследования – электроснабжение лесоперерабатывающего комплекса [1].

Основываясь на аргументации об актуальности выбранной темы, можно определить целевую ориентацию работы.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка системы электроснабжения планируемых к вводу в эксплуатацию потребителей комплекса ООО «Амурпром».

В соответствии с данной целью в выпускной квалификационной работе решаются следующие задачи:

1. Изучить и проанализировать условия для проектирования.
2. Рассчитать характеристики промышленного оборудования.
3. Спроектировать схему электроснабжения.
4. Выбрать и проверить основное оборудование проектируемой системы электроснабжения.

Ожидаемые результаты – проектные характеристики системы электроснабжения комплекса ООО «Амурпром», отвечающие требованиям безопасности и надёжности электроснабжения потребителей, а также требованиям качества электроэнергии по ГОСТ 32144-2013.

При написании выпускной квалификационной работы использовались методы сбора первичной информации, аналитический и метод систематизации.

При оформлении выпускной квалификационной работы использовались программные средства и продукты в соответствии с действующими лицензионными соглашениями на основе коммерческих взаимоотношений с держателями лицензий – Microsoft Corporation, Design Science Corporation.

Наименование использованных программных продуктов – MS Office Word-2017, MS Office Excel-2017, MS Visio-2017.

## 1 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### 1.1 Характеристика производства и потребителей электроэнергии

Основным документом, являющимся источником данных по объекту проектирования является перспективный план развития ГОР Амуро-Хинганская [10]. Потребители комплекса ООО «Амурпром» в соответствии с планом производства относятся к 1, 2 и 3 категории надежности электроснабжения [1].

Предварительное распределение нагрузки по категориям по надежности и бесперебойности электроснабжения: 1 категория – 1700 кВт; 2 категория – 2800 кВт; 3 категория – 5000 кВт. При распределении мощности нагрузки выделяется аварийная бронь 200 кВт и технологическая бронь 1500 кВт.

Поддержание аварийной брони 200 кВт комплекса ООО «Амурпром» позволяет выдержать остановку технологического процесса цехов по обработке дерева без ущерба безопасности работников и окружающей среде, так как минимальные нагрузки компрессорных аппаратов цеха клеенанесения и привода питания блокировок пиловочных линий менее 200 кВт. Охранное освещение, охранная и пожарная сигнализация также включены в 200 кВт аварийной брони комплекса ООО «Амурпром» [1].

Поддержание технологической брони 1500 кВт комплекса ООО «Амурпром» позволяет завершить процесс работы линий строжки и пиловочника для избежания повреждения технологического оборудования вследствие обесточивания лент и дисков, так как наиболее дорогостоящие составляющие пиловочных линий находятся в непосредственном контакте с деревянными заготовками. Дополнительно податочные конвейерные ленты включены в состав технологической брони для сохранения заготовок, находящихся на конвейере в зоне распила [1].

Зона ответственности по обеспечению 2 категории по надежности и бесперебойности электроснабжения определяется на границе раздела балансовой

принадлежности сетей АО «ДРСК», так как по высокой стороне центров питания возможно организовать раздельное питания секций шин. Выделенная 1 категория по надежности и бесперебойности электроснабжения подключается дополнительно к собственному источнику питания комплекса ООО «Амурпром», [1].

Предварительное распределение максимальной мощности энергопринимающих устройств ООО «Амурпром» составляет 9500 кВт, из них:

- 1 очередь – 7000 кВт (1200 кВт – I категория, 2800 кВт – II категория, 3000 кВт – III категория), дата ввода 2023 год;
- 2 очередь - 2500 кВт (500 кВт – I категория, 2000 кВт – III категория) , дата ввода 2027 год;

По режиму работы в комплексе ООО «Амурпром» существует три характерные группы приемников:

1) Потребители сушильных камер, так как их режим работы мало меняется во время осуществления технологического процесса. Перегрева нагревательных элементов не наступает, так как режим работы соответствует номинальному.

2) Электродвигатели электроприводов потребителей отборочного, прессовочного, ремонтно-механического цехов, так как их режим работы кратковременный. Перегрева не наступает, так как время включения двигателей не приводит к перегреву обмоток двигателей из-за продолжительных нагрузок.

3) Склады пиловочника, цех предварительной строжки и клеенанесения, работающие в режиме повторно-кратковременной нагрузки. Допустим кратковременный перегрев оборудования с достаточным перерывом для снижения температуры обмоток двигателей.

По фазности подключения - все потребители комплекса ООО «Амурпром» трёхфазные. По роду тока - все потребители комплекса ООО «Амурпром» переменного тока. По частоте питающего тока – все потребители комплекса ООО «Амурпром» работают на основной частоте тока 50 Гц. Напряжение питания всех

потребители комплекса ООО «Амурпром» трёхфазные по стороне ВН – 10 кВ, по стороне НН - 0,4 кВ.

## 1.2 Климатическая характеристика

Сведения о климатической характеристике района проектирования получены из открытых источников и сопоставлены с нормативно-справочными источниками.

Краткая характеристика климата района проектирования Еврейской автономной области показана в таблице 1 [2].

Таблица 1 – Климатические условия района

Климатические условия	Расчетная величина
Район по ветру	II
Нормативная скорость ветра, м/сек	28
Район по гололеду	II
Толщина стенки гололеда, мм	15
Низшая температура воздуха, °С	-37
Высшая температура воздуха, °С	35
Число грозных часов в год	47
Степень загрязнения атмосферы	I
Нормативная глубина промерзания грунтов, м	2,74
Эквивалентное удельное сопротивление грунта в зимний пери-	60
Эквивалентное удельное сопротивление грунта в летний период,	44

Ом

## 2 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПО ПРЕДПРИЯТИЮ В ЦЕЛОМ

Использование метода коэффициента расчётной нагрузки для определения электрических нагрузок комплекса ООО «Амурпром» на напряжении 10 кВ соответствует методике [10]. Проведение расчётов нагрузки по системе внешнего электроснабжения комплекса ООО «Амурпром» на напряжении 10 кВ допускается выполнять при  $K_p=1$ .

Первым этапом расчётов является определение средних нагрузок цехов по известной установленной нагрузке цехов комплекса ООО «Амурпром».

Для нахождения средней активной мощности, принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для проходной [12]:

$$P_C \square P_{уст} \square k_{И}; \tag{1}$$

$$P_C \square 18 \cdot 0,5 \square 9 \text{ кВт},$$

где  $k_{И}$  - коэффициент использования цеха, 0,5 для проходной [12].

Для нахождения средней реактивной мощности, принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для проходной [12]:

$$Q_C \square P \operatorname{tg} \varphi \square \square, \tag{2}$$

$$Q_C \square \square \cdot 1,02 \square 9,2 \text{ квар}.$$

где  $tg\varphi$  - коэффициент реактивной мощности цеха, 1,02 для проходной [12].

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений средней активной и реактивной мощности цехов комплекса ООО «Амурпром», для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 2.

Таблица 2 – Расчётные нагрузки цехов комплекса ООО «Амурпром»

Наименование цехов	Р <sub>уст</sub> , кВт	K <sub>и</sub>	K <sub>р</sub>	cos	tg	Р <sub>ср</sub> , кВт	Р <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>ср</sub> , квар	Q <sub>р</sub> , квар
1 - Проходная	18	0.5	1	0.7	1.02	9.0	9.0	9.2	9.2
2 - Цех предварительной строжки	4270	0.4	1	0.8	0.75	1708	1708	1281	1281
3 - Склад пиловочника	1600	0.6	1	0.6	1.33	960	960	1277	1277
4 - Склад готовой продукции	180	0.4	1	0.7	1.02	72	72	73	73
5 - Управление	325	0.6	1	0.7	1.02	195	195	199	199
6 - Столовая	425	0.6	1	0.7	1.02	255	255	260	260
7 - Гидравлический цех	860	0.5	1	0.7	1.02	430	430	439	439
8 - Ремонтномеханический цех	1940	0.4	1	0.8	0.75	776	776	582	582
9 - Гараж	180	0.3	1	0.8	0.75	54	54	41	41
10 - Клеенанесение	2700	0.6	1	0.7	1.02	1620	1620	1652	1652
11 - Сушильные камеры	3500	0.6	1	0.7	1.02	2100	2100	2142	2142
12 - Отборочный цех	1200	0.7	1	0.8	0.75	840	840	630	630
13 - Прессовочный цех	900	0.7	1	0.8	0.75	630	630	473	473
Предприятие		0.53		0.73	0.94	9649	9649	9057,4	9057,4

Для нахождения средней активной мощности комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [12]:

$$P_{P_{пред}} \approx \sum P_{P_{цеха}} \cdot K_o; \quad (3)$$

$$P_{P_{пред}} \approx 9649,09 \approx 8684,1 \text{ кВт};$$

где  $K_o$  - коэффициент одновременности при  $K_{иср}=0,53$  и 11 присоединениях на шинах РП, 0,9 [12].

Для нахождения средней реактивной мощности комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [12]:

$$Q_{P_{пред}} \approx \sum Q_{P_{цеха}} \cdot K_o; \quad (4)$$

$$Q_{P_{пред}} \approx 9057,4 \cdot 0,9 \approx 8151,68 \text{ квар.}$$

Осветительные нагрузки рассчитываются отдельно методом коэффициента спроса [14]. Для освещения главных и вспомогательных корпусов принимаем к установке светодиодные светильники марки Оптолукс-лайн 150. Данные светильники подвесного типа светодиодные номинальной мощностью 30 Вт. Степень защиты IP20 (защита от прикосновения к токоведущим частям и каплезащищённые). Для подключаемых цехов нормируемая освещённость колеблется от 150 до 300 Лк. Использование светодиодных светильников реализуется в рамках программы по энергосбережению комплекса ООО «Амурпром».

Для нахождения активной мощности освещения комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для проходной [14]:

$$P_{Pocв} = S_{цеха} \cdot k_C \cdot P_{ocв\ уд}; \quad (5)$$

$$P_{Pocв} = 100 \cdot 0,8 \cdot 11/1000 = 0,9 \text{ кВт};$$

где  $S_{цеха}$  - площадь цеха,  $m^2$ ;  $k_C$  - коэффициент спроса осветительной установки;  $P_{ocв\ уд}$  - удельная мощность осветительной установки,  $Вт/m^2$ .

Для нахождения реактивной мощности освещения комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для проходной [12]:

$$Q_{Pocв} = P_{Pocв} \cdot tg\alpha_{ocв}, \quad (6)$$

$$Q_{Pocв} = 0,9 \cdot 0,48 = 0,4 \text{ квар},$$

где  $tg\alpha_{ocв}$  - коэффициент реактивной мощности освещения, 0,48 для проходной [12].

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений активной и реактивной мощности освещения цехов комплекса ООО «Амурпром», для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 3.

Таблица 3 – Расчётные нагрузки освещения цехов комплекса ООО «Амурпром»

Наименование цехов	$S_{цеха}, m^2$	$P_{ocв\ уд}, Вт/m^2$	$K_c$	$tg\alpha_{ocв}$	$P_{ocв}, кВт$	$Q_{oc}, квар$
1 - Проходная	100	11	0.8	0.48	0.9	0.4
2 - Цех предварительной строжки	4000	10	0.8	0.48	32.0	15.4
3 - Склад пиловочника	4000	18	0.8	0.48	57.6	27.6

4 - Склад готовой продукции	3200	18	0.8	0.48	46.1	22.1
5 - Управление	7200	15	0.8	0.48	86.4	41.5
6 - Столовая	4000	10	0.8	0.48	32.0	15.4
7 - Гидравлический цех	1500	11	0.8	0.48	13.2	6.3
8 - Ремонтномеханический цех	2400	11	0.8	0.48	21.1	10.1
9 - Гараж	1500	10	0.8	0.48	12.0	5.8
10 - Клеенанесение	1000	12	0.8	0.48	9.6	4.6
11 - Сушильные камеры	4000	12	0.8	0.48	38.4	18.4
12 - Отборочный цех	6000	12	0.8	0.48	57.6	27.6
13 - Прессовочный цех	3200	15	0.8	0.48	38.4	18.4
Предприятие					423.0	203.0

Для нахождения активной мощности освещения территории комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [14]:

$$P_{\text{Росв зав}} \approx S_{\text{терр}} \cdot k_C \cdot P_{\text{осв уд}} ; \quad (7)$$

$$P_{\text{Росв зав}} \approx 34700 \cdot 0,8 \cdot 0,0016 \approx 44 \text{ кВт};$$

$$S_{\text{терр}} \approx S_{\text{завода}} \cdot S_{\text{цеха}},$$

$$S_{\text{терр}} \approx 76800 \cdot 42100 \approx 34700 \text{ м}^2.$$

где  $S_{\text{завода}}$  - площадь территории комплекса ООО «Амурпром», 76800 м<sup>2</sup>;  $k_C$

- коэффициент спроса осветительной установки;

$P_{\text{осв уд}}$  - удельная мощность осветительной установки лампами ДнАТ-

125, 1,6 Вт/м<sup>2</sup>.

Для нахождения реактивной мощности освещения территории комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [12]:

$$Q_{Pосв зав} \approx P_{Pосв зав} \approx tg \approx_{осв} , \quad (8)$$

$$Q_{Pосв зав} \approx 44 \cdot 0,48 \approx 21 \text{ квар.}$$

где  $tg \approx_{осв}$  - коэффициент реактивной мощности освещения, 0,48 [12].

Для нахождения активной мощности комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [12]:

$$P_P \approx P_{Pпред} \approx P_{Pосв} \approx P_{Pосв зав} ; \quad (9)$$

$$P_P \approx 8684,1 \approx 44 \approx 423 \approx 9151,53 \text{ кВт;}$$

Для нахождения реактивной мощности комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [12]:

$$Q_P \approx Q_{Pпред} \approx Q_{Pосв} \approx Q_{Pосв зав}; \quad (10)$$

$$Q_P \approx 8151,68 \approx 21 \cdot 203 \approx 8376,05 \text{ квар.}$$

Для нахождения полной мощности комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [12]:

$$S_P \approx \sqrt{P_{P2}^2 + Q_{P2}^2}; \quad (11)$$

$$S_P \approx \sqrt{151,53^2 + 8376,05^2} \approx 12406 \text{ кВА.}$$

### 3 ВЫБОР НОМИНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

Ближайшим к району проектирования источником питания является ПС 110/35/10 «Ленинское», для которой характерно наличие распределительного устройства 10 кВ с имеющимися ячейками КРУ-10 кВ. Количество ячеек КРУ ПС 110/35/10 «Ленинское», к которым выполняется подключение потребителей в рамках выполнения обязательств по техническому присоединению к системе электроснабжения ограничено. Для обеспечения перспективы присоединения новых потребителей комплекса «Амурпром» при расширении производства в соответствии с планами [1], требуется обеспечить дополнительных источник питания в виде РП на территории комплекса «Амурпром».

Учитывая незначительную протяженность комплекса «Амурпром» до источника питания шин 10 кВ ПС 110/35/10 «Ленинское» (2,3 км), принимается напряжение линий 10 кВ.

Принимается во внимание тот факт, что строительство РП сопряжено с меньшими затратами относительно сооружения отдельной ПС 35/10, поэтому целесообразно использовать РП-10 кВ для электроснабжения комплекса ООО «Амурпром». Проектируемый РП-10 кВ допускается рассматривать с перспективой расширения и дальнейшей модернизации до уровня центра питания с напряжением 35/10 кВ в случае установки силовых трансформаторов 35/10 кВ и монтажа ОРУ-35 кВ. Площадка для монтажа ОРУ 35 кВ и установки силовых трансформаторов по близости от проектируемого РП-10 кВ позволяет выполнить установку оборудования 35 кВ после соответствующей подготовки грунта и благоустройства территории.

В случае роста фактического потребления комплекса в краткосрочной перспективе воздушную линию 10 кВ выполняем в габаритах линии 35 кВ.

#### 4 ВЫБОР МАРКИ И СЕЧЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ ЛИНИИ

Выбор вставок питающего кабеля и воздушной линии напряжением 10 кВ проводится по нагреву длительно расчётным током, рисунок 1.

ПС 110/35/10 Ленинское

Граница

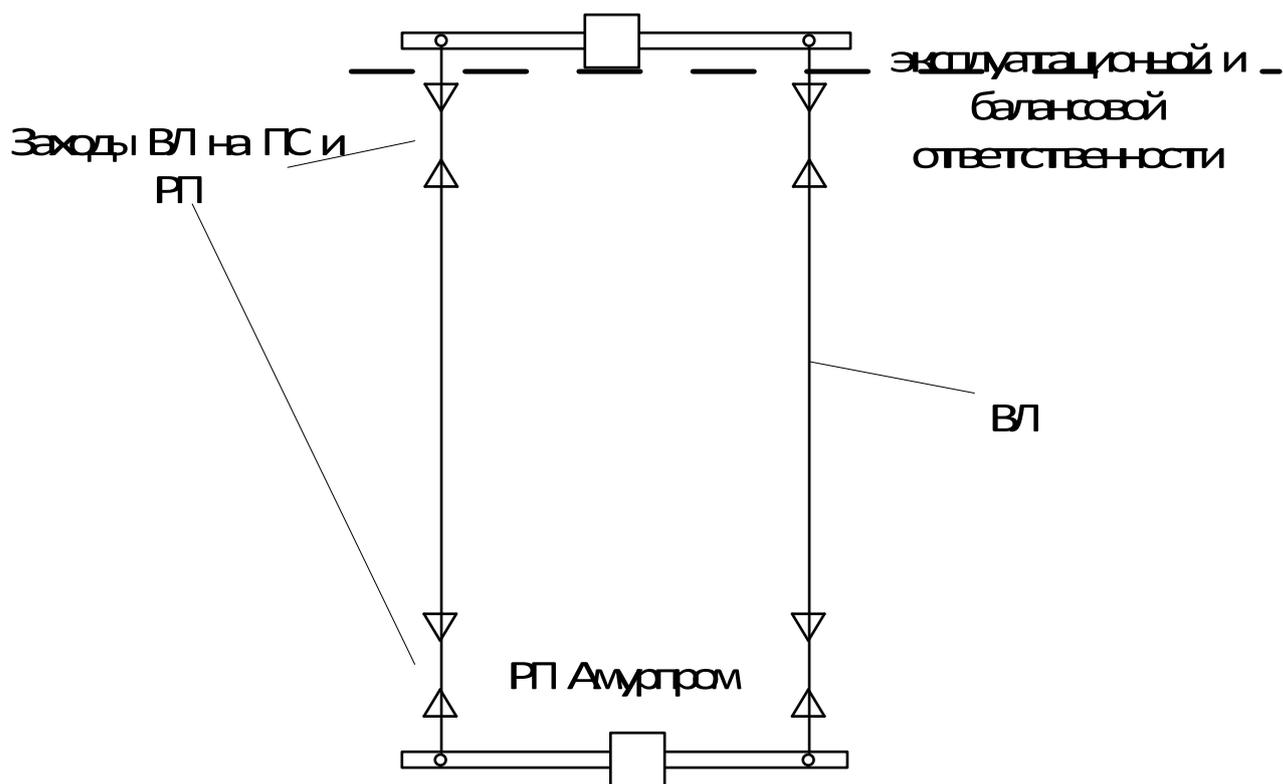


Рисунок 1 – Подключение РП Амурпром

Для нахождения расчетного тока кабельных вставок комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [8]:

$$\frac{S_{p1}}{\sqrt{I_{p1}} \cdot 3 \cdot U_n}, \quad (12)$$

$$I_{p1} \approx \sqrt{\frac{12406}{3 \cdot 102}} \approx 359 \text{ A.}$$

Выбираем кабель марки АПВВ (3x1x150) по  $I_{доп\ с\ прав} \approx 371 \text{ A}$  – три одножильных кабеля, жилы алюминиевые, изоляция из сшитого полиэтилена, ПВХ оболочка [8].

Для воздушной линии выбираем провод СИП-3 (3x95) по  $I_{доп\ с\ прав} \approx 370 \text{ A}$  [27].

Для нахождения допустимого тока кабельных вставок комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [8]:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп справ}} \cdot K_{\text{сниж}} \cdot K_{\text{перегр}} \cdot K_t, \quad (13)$$

$$I_{\text{доп}} = 371 \cdot 0.9 \cdot 1.1 \cdot 1 = 371 \text{ А},$$

где  $I_{\text{доп справ}}$  - допустимый ток кабеля марки АПвВ (3х1х150) [27];

$K_{\text{сниж}}$  - коэффициент понижения пропускной способности кабеля, если использованы две цепи в траншее из-за ухудшения условий охлаждения кабелей, 0,9;

$K_{\text{перегр}}$  - коэффициент повышения пропускной способности кабеля, если время отключения перегруженного кабеля не более 6-ти часового промежутка, 1.1;

$K_t$  - коэффициент повышения пропускной способности кабеля, если грунт в среднегодовом наблюдении имеет температуру 25° С, 1,0.

Для проверки допустимого тока кабельных вставок комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [8]:

$$I_p = I_{\text{доп}}, \quad (14)$$

$$359 < 371 \text{ А}$$

Для проверки допустимого тока воздушной линии сечением 95 мм<sup>2</sup> комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [8]:

$$I_p \approx I_{don},$$

359-370А.

Так как длина кабельных вставок незначительна, то проверку по потере напряжения выполняем для воздушной линии при условии, что в работе 2 цепи.

Для проверки допустимой потери напряжения воздушной линии сечением 95 мм<sup>2</sup> комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [8]:

$$\Delta U \approx \frac{(P R_l + Q X_l) 100}{U_H} \% \quad (15)$$

$$\Delta U \approx \frac{(9151,5 \cdot 0,83 + 8376 \cdot 0,23) 100}{10 \cdot 10} \% \approx 4,8\%.$$

где  $R_l$  - активное сопротивление воздушной линии, Ом.

$X_l$  - реактивное сопротивление воздушной линии, Ом.

Для нахождения активного сопротивления воздушной линии питания комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [8]:

$$R_l \approx r_{уд} \cdot l, \quad (16)$$

$$R_l \approx 0,363 \cdot 2,3 \approx 0,83,$$

где  $r_{уд}$  - удельное активное сопротивление воздушной линии проводом СИП-3-95, 0,363 Ом·км, [8];  $l$  - длина линии, по заданию 2,3 км.

Для нахождения реактивного сопротивления воздушной линии питания комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [8]:

$$X_l \approx x_{уд} \cdot l, \quad (17)$$

$$X_l \approx 0,1 \cdot 2,3 \approx 0,23,$$

где  $x_{уд}$  - удельное реактивное сопротивление воздушной линии, 0,1 Ом·км, для изолированных проводов, так как реактивное сопротивление линий с проводом СИП в 3-3,5 раза меньше сопротивления линий с голым проводом [8];

Выбранный кабель и провода воздушной линии проходят по всем условиям проверки, учитывая обрыв одной цепи, когда потеря напряжения 9,6%, что допустимо по [4].

## 5 ВЫБОР ТИПА ПУНКТА ПРИЁМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

По расчётной нагрузке комплекса ООО «Амурпром» 9,1 МВт предприятие относится к средним по нагрузке. Питание таких предприятий осуществляется от ГПП или РП.

Принимая во внимание относительную близость к ПС «Ленинское» и экономическую целесообразность сооружения РП выбираем вариант с использованием РП.

Схему РП выполняем секционированной для повышения надёжности. Кроме того, на секционном выключателе предусматриваем АВР. Графически схема РП представлена на рисунке 2.

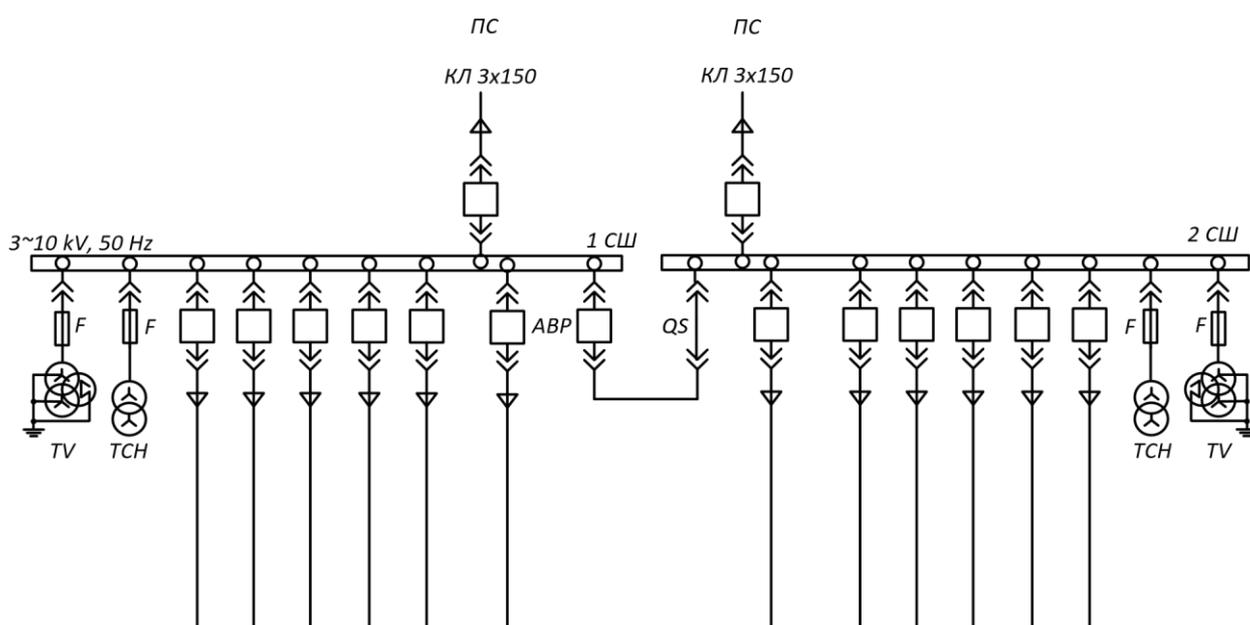


Рисунок 2 – Схема РП комплекса ООО «Амурпром»

Электроснабжение потребителей комплекса ООО «Амурпром» от РП-10 кВ целесообразно осуществлять с учётом применения схемы РП-10 кВ с одной секционированной выключателем системой шин.

При использовании схемы РП-10 кВ с одной секционированной выключателем системой шин обеспечивается связь секций шин секционным выключателем и разъединителем с настройкой напряжения и времени срабатывания автоматического включения резерва на секционном выключателе.

Секции шин при таком делении выполняют функции отдельных источников питания, так как ПС «Ленинское» имеет 2 источника питания по стороне 110 кВ.

При повреждении секции шин происходит отключение одного плеча секции шин вводным выключателем или отключение линейной ячейки с повреждением на КЗ и дальнейшим каскадным отключением вводного выключателя 10 кВ.

Конструктивно РП-10 кВ выполняется в виде ЗРУ на ячейках КРУ СЭЩ-70 [27].

## 7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ПУНКТА

Картограмма электрических нагрузок на начальном этапе расчётов выполняется для каждого отдельного цеха комплекса ООО «Амурпром».

Для нахождения радиуса окружности картограммы нагрузки, принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для проходной [11]:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{m}} \quad (18)$$

$$R_i = \sqrt{\frac{9}{3.14 \cdot 100}}$$

где  $m$  – электрический масштаб, принимаем 100 кВт/см.

Для нахождения центра электрических нагрузок комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [11]:

$$X_0 = \frac{\sum P_i \cdot X_i}{\sum P_i}; \quad (19)$$

$$X_0 = \frac{27168}{9649} = 2,8,$$

$$Y_0 = \frac{\sum P_i \cdot Y_i}{\sum P_i}, \quad (20)$$

$$\square P_i$$

$$Y_0 \square \frac{30217}{9649} \square 3.1.$$

Расчёт картограммы производится исходя из координат геометрического центра каждого цеха, вне зависимости от геометрической формы. Абсциссы и ординаты каждого цеха определяется по условно показанной шкале.

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений координат цехов комплекса ООО «Амурпром», для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 4.

Таблица 4 – Радиусы окружностей картограммы нагрузок комплекса ООО «Амурпром»

Наименование цехов	Pp, кВт	D=2R, см	Координаты	
			X	Y
1 - Проходная	9	3	0.1	6
2 - Цех предварительной строжки	1708	47	2	6
3 - Склад пиловочника	960	35	4.4	6
4 - Склад готовой продукции	72	10	6.3	5.8
5 - Управление	195	16	8.2	6
6 - Столовая	255	18	0.5	3.8
7 - Гидравлический цех	430	23	2.5	3.8
8 - Ремонтно-механический цех	776	31	4.9	3.8
9 - Гараж	54	8	8.2	3.8
10 - Клеенанесение	1620	45	0.1	1.3
11 - Сушильные камеры	2100	52	2	1.3
12 - Отборочный цех	840	33	4.4	1.3
13 - Прессовочный цех	630	28	6.3	1.4
Центр нагрузок			2,8	3,1

Координаты центра эллипса: X = 2,8 см, Y = 3,1 см.

Графически центр электрических нагрузок комплекса представлен на рисунке 3. Таким образом, из рисунка 3 видно, что центр приближен к

территории гидравлического цеха. Выполнение разводки сетей 10 кВ с учётом положения центра электрических нагрузок позволит снизить затраты на проводниковый материал системы электроснабжения по критерию затрат.

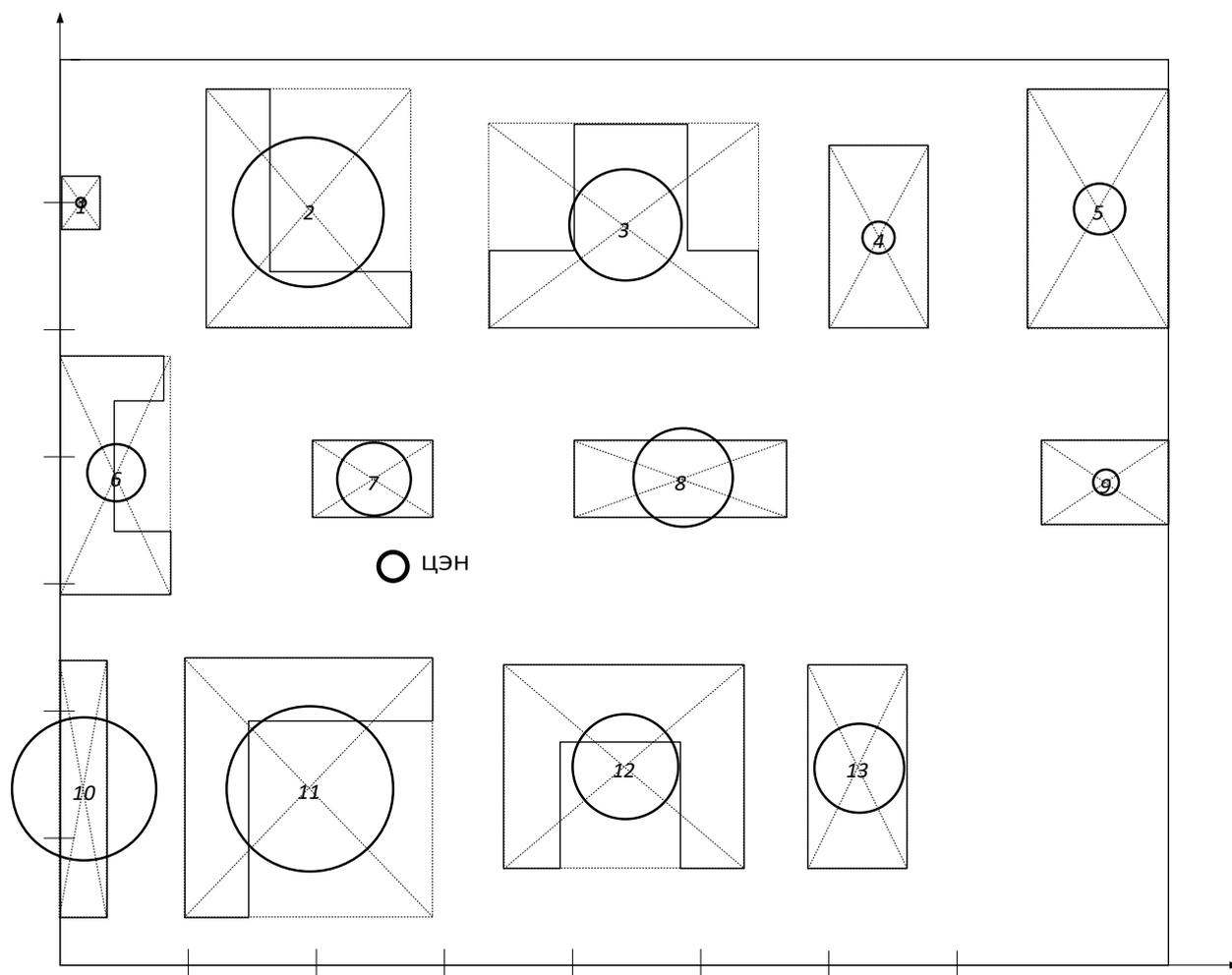


Рисунок 3 - Картограмма электрических нагрузок

РП-10 кВ экономически целесообразно расположить как можно ближе к центру электрических нагрузок, указанном на рисунке 3.

## 8. ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ С УЧЕТОМ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Для нахождения мощности трансформатора КТП-3 комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для склада пиловочника [10]:

$$S_{\text{КТП}} = \frac{P^{\text{п}}}{N \cdot K_z}, \quad (21)$$

$$S_{\text{КТП}} = \frac{1018}{2 \cdot 0,8} = 636 \text{ кВА},$$

где  $N$  – количество трансформаторов ТП, устанавливается 2 трансформатор так как категория потребителей 2 [10],

$K_z$  – коэффициент загрузки трансформатора, принимается 0,8 [10].

Мощность трансформатора принимается 1000 кВА, трансформатор типа ТМ для минимизации затрат на систему электроснабжения.

$$Q_m = \sqrt{N \cdot k \cdot S_m \cdot z \cdot m \cdot P_p^2}, \quad (22)$$

$$Q_m = \sqrt{2 \cdot 0,8 \cdot 1000} = 1018^2 = 1235 \text{ квар}.$$

Батареи конденсаторов принимаются закрытого типа в РУНН КТП в металлическом шкафу, окрашенном эпоксидной смолой, с минимальной степенью защиты IP31

Для нахождения реактивной мощности через трансформатор 10/0,4 кВ КТП-3 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для склада пиловочника [10]:

2

Для нахождения мощности низковольтных батарей конденсаторов принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для КТП-3 [10]:

$$Q_{нк1} = Q_{\square} - Q_m, \quad (23)$$

$$Q_{нк1} = 1304 - 70 \text{ квар.}$$

Для нахождения дополнительной мощности низковольтных батарей конденсаторов принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для КТП-3 [10]:

$$Q_{нк2} = Q_{\square} - Q_{нк1} - \gamma \cdot N_m \cdot S_m, \quad (24)$$

$$Q_{нк2} = 1304 - 70 - 0.4 \cdot 2 \cdot 1000 = 535 \text{ квар.}$$

Для нахождения суммарной мощности низковольтных батарей конденсаторов принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для КТП-3 [10]:

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}, \quad (25)$$

$$Q_{нк} = 70 + 535 = 604 \text{ квар.}$$

Выбирается батарея конденсаторов КРМ-0,4-600-25 УЗ на 600 квар.

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений величины мощности НБК комплекса ООО «Амурпром», для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 5.

Таблица 5 – Выбор НБК

Наименование цехов	$P_p$ , кВт	$K_3$	$N_{тр}$	$S_{р\text{ тп}}$ , кВА	$Q_p$ , квар	$S_{\Phi\text{ тп}}$ , кВА	$Q_t$ , квар	$Q_{нк1}$ , квар	$Q_{нк2}$ , квар	$Q_{нк}$ , квар	$Q_{нк\ \Phi}$ , квар
1 КТПцех №1,2	1750	0.80	2	1094	1306	1600	1869	-563	749	186	200
2 КТПцех №3	1018	0.80	2	636	1304	1000	1235	70	535	604	600
3 КТПцех №4,5, 9	465	0.80	1	582	382	630	193	189	-27	162	150
4 КТПцех №6,7, 8	1527	0.80	2	955	1313	1000	477	836	-223	613	600

5 КТПцех №10	1630	0.80	2	1019	1657	1600	1974	-317	854	537	600
6 КТПцех №11,1 2	3036	0.80	2	1898	2818	2500	2604	214	854	1068	1200
7 КТПцех №13	668	0.80	2	418	491	630	755	-264	314	50	50

## 9 КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПО КОМПЛЕКСУ В ЦЕЛОМ

Для нахождения некомпенсированной реактивной нагрузки на шинах 0,4 кВ каждой КТП принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [10]:

$$Q_{\text{неск}} = Q_{\square} - Q_{\text{нк факт}}, \quad (26)$$

$$Q_{\text{неск}} = 1304 - 600 = 704 \text{ квар.}$$

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений некомпенсированной реактивной мощности КТП комплекса ООО «Амурпром», для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 6.

Таблица 6 – Результаты расчёта КРМ по КТП

Наименование цехов	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>неск</sub> , квар
1 КТП-цех №1,2	1750	1106
2 КТП-цех №3	1018	704
3 КТП-цех №4,5,9	465	232
4 КТП-цех №6,7,8	1527	713
5 КТП-цех №10	1630	1057
6 КТП-цех №11,12	3036	1618
7 КТП-цех №13	668	441
всего	10094	5871

Для нахождения мощности компенсирующих устройств на РП-10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [10]:

$$Q_{KV}^{TP} \leq Q_{неск} + P_p \cdot tg\phi, \quad (27)$$

$Q_{KV}^{TP} \leq 10094 + 5871 \cdot 0.4 = 18333$  квар,  
где  $tg\phi$  - допустимый коэффициент мощности, величина для стороны 10 кВ 0,4, [10].

Выбираем батареи конденсаторов и определяем фактическое значение мощности  $Q_{KV}^{\Phi}$ , с учётом того, что количество батарей должно быть чётным, т.

к. они устанавливаются на две секции шин.

Для нахождения фактической мощности компенсирующих устройств на РП-10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [10]:

$$Q_{KV\Phi} \leq n_{KV} \cdot Q_{KV\text{ ном}\Phi}, \quad (28)$$

$$Q_{КУ}^{\Phi} = 2 \cdot 900 \cdot 1800 \text{ квар},$$

где  $n_{КУ}$  - количество батарей конденсаторов 10 кВ, 2;

$Q_{КУ\text{ ном}}^{\Phi}$  - мощность батарей конденсаторов УКЛ – 10 – 900У3, 900 квар.

Для нахождения некомпенсированной реактивной мощности РП принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [10]:

$$Q_{НЕСКРП} = Q_{неск} + Q_{КУ}^{\Phi}, \quad (29)$$

$$Q_{НЕСКРП} = 5871 \cdot 1800 + 3071 \text{ квар}.$$

Для нахождения полной нагрузки комплекса ООО «Амурпром» после компенсации реактивной мощности принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [10]:

$$S_{P\text{пред}} = \sqrt{P_{P\text{пред}2}^2 + Q_{НЕСКРП2}^2}; \quad (30)$$

$$S_{P\text{пред}} = \sqrt{151,53^2 + 3071^2} = 9653 \text{ кВА}.$$

Для нахождения расчётного тока ВЛ питания комплекса ООО «Амурпром» после компенсации реактивной мощности принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [10]:

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{P\text{пред}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta} \quad (31)$$

$$I_p \approx \frac{9653}{\sqrt{3} \cdot 102} \approx 279 \text{ A.}$$

Для воздушной линии выбранное ранее сечение провода СИП-3 (3х95) с  $I_{\text{доп справ}} \approx 370$  А завышено, наиболее подходящее сечение провода СИП-3 (3х70) с  $I_{\text{доп справ}} \approx 310$  А. Окончательно принимаем сечение провода 2хСИП-3 (3х70) для обеих очередей комплекса.

## 10 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

### 10.1 Выбор номинального напряжения схемы внутреннего электро-снабжения

Распределительная сеть предприятия проектируется на напряжение 10 кВ, так как напряжение шин НН центра питания ПС «Ленинское» 10 кВ.

## 10.2 Разработка схемы внутреннего электроснабжения

На территории данного предприятия используем прокладку ВЛ, так как выполнение ВЛ требует меньших временных затрат.

Используем магистральную и радиальную схему. Магистраль, питающая цеха выполняем двойными для соблюдения требований надёжности. В случае радиальных линий подключаем по резервируемой радиальной схеме.

Выбора проводов ВЛ проводится аналогично п.5, выбранные сечения необходимо проверить по допустимой потере напряжения, согласно п.5.

Покажем расчёт для КТП-1 по варианту 1 – резервированная радиальная линия к КТП-1:

Для нахождения расчётного тока ВЛ питания КТП-1 комплекса ООО «Амурпром» принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [15]:

$$I_{p1} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{3 \cdot U_n}, \quad (32)$$

$$I_{p1} = \frac{\sqrt{1749,9^2 + 1106^2}}{3 \cdot 10,2} \approx 60 \text{ А}$$

Для воздушной линии питания КТП-1 выбираем провод СИП-3 3х35 по

$I_{доп\ справ} \approx 200 \text{ А}$ .

Для проверки допустимого тока ВЛ питания КТП-1 комплекса ООО «Амурпром» в максимальном режиме, когда одна цепь в работе, принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [15]:

$$I_{p, \max} \leq I_{\text{доп}},$$

2 60 ≤ 120 ≤ 200А.

Для проверки допустимой потери напряжения по ВЛ питания КТП-1 комплекса ООО «Амурпром», принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [15]:

$$\Delta U \leq \frac{(P R_p + Q X_l) 100}{U_H \cdot 10} \% ,$$

$$\Delta U \leq \frac{(1749,9 \cdot 0,43 + 1106 \cdot 0,044) 100}{10 \cdot 10} \% = 0,8\% ,$$

где  $R_l$  - активное сопротивление воздушной линии, Ом;  $l$

- длина линии, по плану 0,44 км;

$X_l$  - реактивное сопротивление воздушной линии, Ом.

Для нахождения активного сопротивления ВЛ питания КТП-1 комплекса ООО «Амурпром» принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [15]:

$$R_l \leq r_{уд} \cdot l , \tag{33}$$

$$R_l \leq 0,986 \cdot 0,44 \leq 0,43,$$

где  $r_{уд}$  - удельное активное сопротивление воздушной линии, 0,986 Ом·км, [7].

Для нахождения реактивного сопротивления ВЛ питания КТП-1 комплекса ООО «Амурпром» принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [15]:

$$X_l \approx x_{уд} \cdot l, \quad (34)$$

$$X_l \approx 0.1 \cdot 0.44 \approx 0.044,$$

где  $x_{уд}$  - удельное реактивное сопротивление воздушной линии, 0,1

Ом·км.

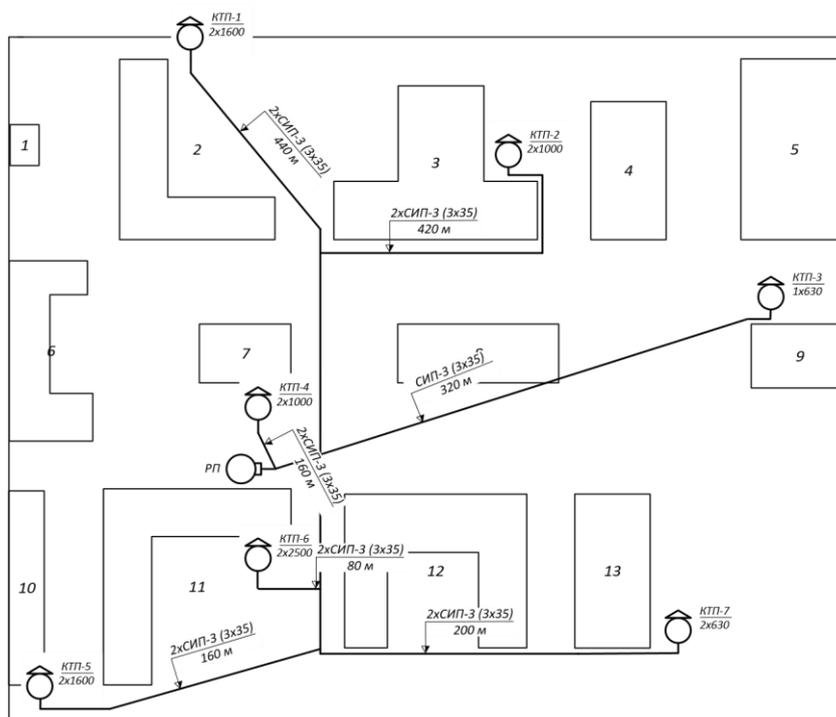
Получив схожие результаты проработки аналогичных решений по выбору проводов питания КТП комплекса ООО «Амурпром», для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 7.

Таблица 7 – Выбор проводов внутреннего электроснабжения предприятия

Питаемые цеха	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$I_{p \text{ ВЛ}}$ , А	$I_{доп \text{ ВЛ}}$ , А	L, км	F ВЛ, мм <sup>2</sup>
КТП 1 (вариант 1)	1749.9	1106.0	60	200	0.44	35
КТП 2 (вариант 1)	1017.6	704.4	36	200	0.42	35
КТП 3 (вариант 1)	465.5	232.2	30	200	0.32	35
КТП 4 (вариант 1)	1527.3	712.5	49	200	0.16	35
КТП 5 (вариант 1)	1629.6	1057.0	56	200	0.16	35
КТП 6 (вариант 1)	3036.0	1618.1	99	200	0.08	35
КТП 7 (вариант 1)	668.4	440.9	23	200	0.20	35
КТП 7,3 (вариант 2)	1133.9	673.1	38	200	0.40	35
КТП 2,4,6 (вариант 2)	5580.9	3035.1	184	370	0.40	95
КТП 1,5 (вариант 2)	3379.5	2163.0	116	245	0.56	50

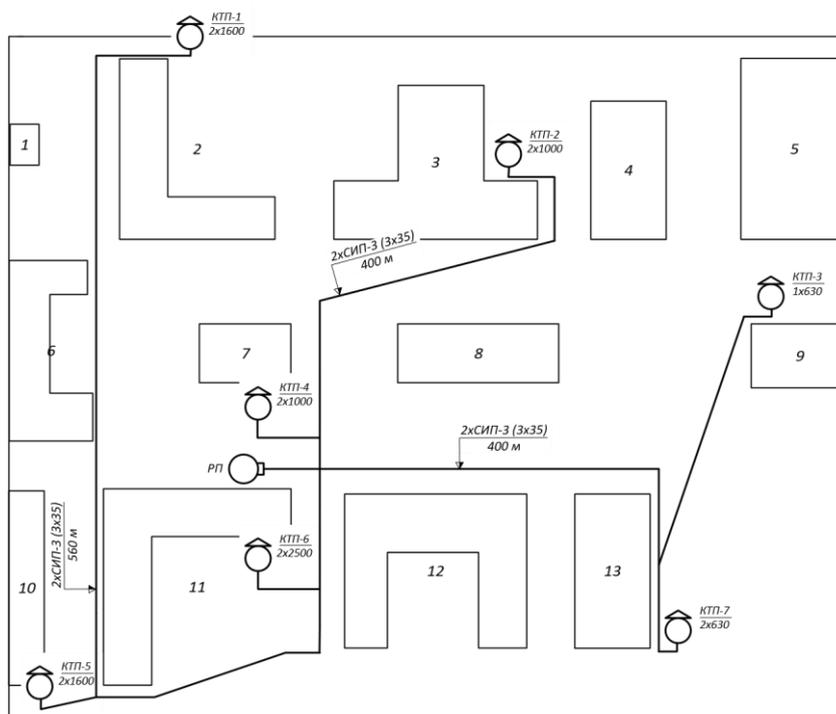
На рисунке 4 представлены варианты сети 10 кВ.

**Вариант - 1**



↑ Питание от подстанции энергосистемы

**Вариант - 2**



↑ Питание от подстанции энергосистемы

Рисунок 4 – Варианты сети 10 кВ

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений по проверке проводов питания КТП комплекса ООО «Амурпром», для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 8.

Таблица 8 – Проверка кабелей внутреннего электроснабжения

Питаемые цеха	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	L, км	F вл, мм <sup>2</sup>	R <sub>вл</sub> , Ом/км	$\Delta U_{вл}$ норм, %	$\Delta U_{вл}$ авар, %
КТП 1 (вариант 1)	1749.9	1106.0	0.44	35	0.986	0.4	0,8
КТП 2 (вариант 1)	1017.6	704.4	0.42	35	0.986	0.2	0,4
КТП 3 (вариант 1)	465.5	232.2	0.32	35	0.986	0.1	0,2
КТП 4 (вариант 1)	1527.3	712.5	0.16	35	0.986	0.1	0,2
КТП 5 (вариант 1)	1629.6	1057.0	0.16	35	0.986	0.1	0,2
КТП 6 (вариант 1)	3036.0	1618.1	0.08	35	0.986	0.1	0,2
КТП 7 (вариант 1)	668.4	440.9	0.20	35	0.986	0.1	0,2
КТП 7,3 (вариант 2)	1133.9	673.1	0.40	35	0.986	0.2	0,4
КТП 2,4,6 (вариант 2)	5580.9	3035.1	0.40	95	0.363	0.5	1
КТП 1,5 (вариант 2)	3379.5	2163.0	0.56	50	0.72	0.7	1,4

Выбранные провода проходят по условиям проверки.

Линия связи РП с подстанцией энергосистемы имеет потерю напряжения меньше чем 5% (4,8%).

Наибольшая потеря напряжения по обеим цепям ВЛ по второму варианту составляет 1,4%, суммарная потеря напряжения:

$$4,8\% + 1,4\% = 6,2\% \leq 10\%$$

Требования ГОСТ 32144-2013 по медленному изменению напряжения соблюдаются [4].

### 10.3 Техникоэкономическое сравнение вариантов схем внутреннего электроснабжения

Оптимальный вариант выполнения сети 10 кВ комплекса ООО «Амурпром» подлежит определению в соответствии с величиной приведенных затрат за первый год эксплуатации сети.

Для нахождения приведенных затрат на каждый вариант сети 10 кВ комплекса ООО «Амурпром» принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [14]:

$$Z = E_H \cdot K_{И} + E_H \cdot (K_{ВЛ} + K_{ВЫКЛ}) + (A \cdot K_{ВЛ} + A \cdot K_{ВЫКЛ}) \cdot C_0 + (W_{ВЛ}) \cdot 10 \quad (35) \text{ пз}$$

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

$K_{ВЛ}$  и  $K_{ВЫКЛ}$  - стоимость ВЛ и выключателей соответственно [14];

$C_0 = 1.74$  руб/кВт·ч – стоимость потерь электроэнергии для Еврейской автономной области на 2022 год [7];

$A$  - ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание

$a_{ам.выкл} = 5,9\%$ ,  $a_{ам.ВЛЭП} = 0,5\%$ ;

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

Для нахождения потерь электроэнергии для каждого варианта сети 10 кВ комплекса ООО «Амурпром» принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [15]:

$$W_{ВЛ} = \sum_{l=1}^n P_{Лl} + \sum_{l=1}^n Q_{Лl} R X + T \quad ,$$

(36)  $U_{ном}$

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

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

$R X$ , – активное и реактивное сопротивление линии, Ом;

$T$  – число часов.

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений по расчёту затрат на сооружение сетей 10 кВ комплекса ООО «Амурпром», для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 9.

Таблица 9– Сравнение вариантов сети 10 кВ

исходные данные	по варианту 1	по варианту 2	
$N_{\text{выкл}}$ , шт	13	6	
$L_{\text{пров35}}$ , км	3.24	1.92	
$L_{\text{пров95}}$ , км		0.8	
$C_{\text{выкл}}$ , тыс. руб	260	260	
$C_{\text{пров35}}$ , тыс. руб	55.2	55.2	
$C_{\text{пров50}}$ , тыс. руб	117	117	
$C_{\text{потерь ээ}}$ , руб/кВтч	1.74	1.74	
расчётные данные	по варианту 1	по варианту 2	
$I_{\text{пров экспл}}$ , тыс. руб	0.9	1.0	
$I_{\text{выкл экспл}}$ , тыс. руб	199	92	
$I_{\text{аморт}}$ , тыс. руб	178	88	разница
$\Delta W$ , кВт·ч	208817	571022	
$I_{\text{потерь ээ}}$ , тыс. руб	363	994	630
$Z$ , тыс. руб	1097	1351	253

Проводим сравнение вариантов по меняющимся частям, поэтому капиталовложения в ТП не учитываем, т.к. количество и мощность ТП для обоих вариантов одинаковы.

В результате сравнения по приведенным затратам выявлено, что вариант 1 дешевле на 253 тыс. руб (19%).

## 11 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

### 11.1 Расчет токов короткого замыкания на шинах РП

Расчёт токов короткого замыкания на шинах 10 кВ РП Амурпром выполняется в относительных единицах при имеющихся исходных данных о величине тока трехфазного КЗ на стороне 110 кВ питающей ПС 110/35/10 кВ Ленинское, 1,42 кА.

Проработав участок схемы сетей 110-35 кВ Еврейской автономной области для упрощения выкладок результатов оформлен графический рисунок 5, где указана исходная схема для расчёта токов КЗ в сети 10 кВ.

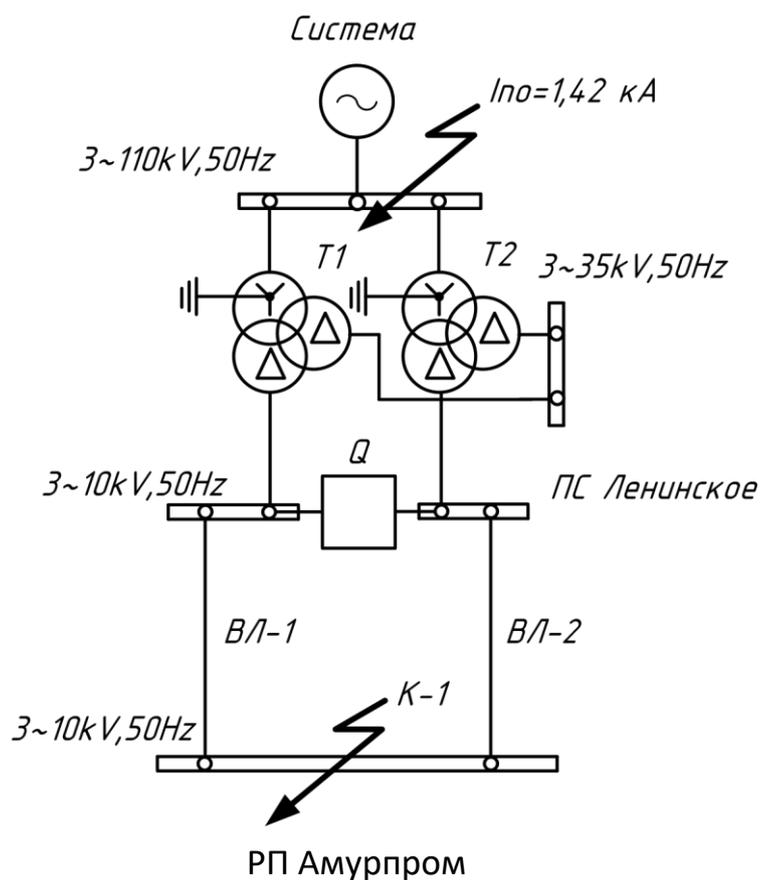


Рисунок 5 – Исходная схема для расчёта токов КЗ на РП Амурпром

Для расчета токов короткого замыкания необходимо составить схему замещения, на которой должны быть указаны все сопротивления, необходимые для расчета, рисунок 6 [5].

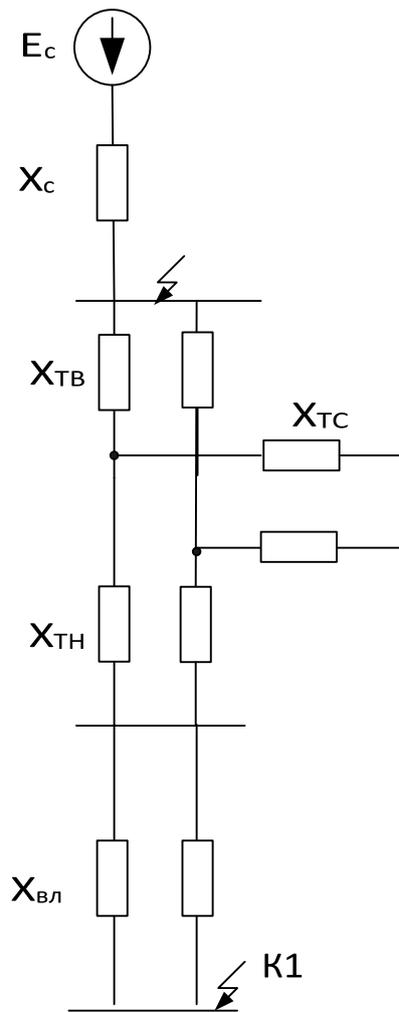


Рисунок 6 – Схема замещения

Для нахождения базисных токов стороны ВН и НН ПС Ленинское принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [5]:

$$I_{\delta} \approx \frac{S^{\delta}}{\sqrt{3} U_{\delta}} \quad (37)$$

$$I_{\delta 10} \approx \frac{100}{\sqrt{3} U_{10}} \approx 5,78 \text{ кА,}$$

$$I_{б110} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0,53 \text{ кА},$$

где  $S_6$  – базисная мощность, 100 МВА;

$U_6$  - базисное напряжение, для стороны НН - 10 кВ, для стороны ВН – 115 кВ.

Для нахождения сопротивлений трансформаторов ПС Ленинское принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [5]:

$$X_{тв} = \frac{(u^{квс} + u^{квн} + u^{квн}) \cdot S_6}{200 \cdot S_{тном}}, \quad (38)$$

$$X_{тв} = \frac{(10,5 + 17 + 6) \cdot 100}{200 \cdot 2 \cdot 10^6} = 0,054,$$

$$X_{тс} = \frac{(u^{квс} + u^{квн} + u^{квн}) \cdot S_6}{200 \cdot S_{тном}}, \quad (39)$$

$$X_{тс} = \frac{(10,5 + 6 + 17) \cdot 100}{200 \cdot 2 \cdot 10^6} = 0,$$

$$X_{тн} = \frac{(u^{квн} + u^{квн} + u^{квс}) \cdot S_6}{200 \cdot S_{тном}}, \quad (40)$$

$$X_{тн} = \frac{(17 + 6 + 10,5) \cdot 100}{200 \cdot 2 \cdot 10^6} = 0,031,$$

Где  $u_{квс}, u_{квн}, u_{кск}$  - напряжения короткого замыкания между обмотками, 10.5%, 17%, 6% соответственно;

$S_{тном}$  - суммарная номинальная мощность трансформаторов на ПС Ленинское, 2x10 МВА.

Для нахождения сопротивления линий 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [5]:

$$X_l \approx \frac{l}{n} \cdot \frac{0,493}{U_{cp}^2} \cdot S_{тном}, \quad (41)$$

$$X_l \approx 2,3 \cdot \frac{0,493 \cdot 100}{2 \cdot 10^2} \approx 0,567,$$

где  $l$  - протяженность линий питания РП, 2,3 км;  $x_{уд}$  - реактивное сопротивление проводов, 0,493 Ом/км;  $n_l$  - количество параллельных цепей питания РП, 2.

Для нахождения сопротивления системы принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [5]:

$$X_c \approx \frac{I_{кз}^2}{I_{ср}^2}, \quad (42)$$

$$X_c \approx \frac{0,53}{1,42} \approx 0,37,$$

где  $I_{кз}$  - ток трехфазного КЗ на стороне 110 кВ питающей ПС 110/35/10 кВ Ленинское, 1,42 кА;

$I_{\sigma}$  - базисный ток на стороне 110 кВ питающей ПС 110/35/10 кВ Ленинское.

Для нахождения сопротивления схемы замещения для точки К-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [5]:

$$X_1 \approx X_{ТВ} \approx X_L \approx X_C \approx X_{ТН}, \quad (43)$$

$$X_1 \approx 0,054 \approx 0,031 \approx 0,567 \approx 0,37 \approx 1,022.$$

Для нахождения тока трехфазного КЗ для точки К-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [5]:

$$E_{\Sigma} \approx I_{\sigma}, \quad (44)$$

$$I_{no} \approx X_{\Sigma}$$

$$I_{no} \approx \frac{1}{1,022} \approx 5,78 \approx 5,66 \text{ кА},$$

где  $E_{\Sigma}$  - эквивалентная ЭДС системы, 1

Для нахождения апериодической составляющей тока трехфазного КЗ в начальный момент времени для точки К-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [5]:

$$i_{a0} \approx \frac{2 \approx I_{no}}{\sqrt{}} \quad (45)$$

$$i_{a0} = \sqrt{2} \cdot 5,66 \cdot 8 \text{ кА},$$

Для нахождения апериодической составляющей тока трехфазного КЗ в момент времени 0,01 с для точки К-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [5]:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}} \cdot e^{-\frac{0.01}{T_a}}, \quad (46)$$

$$= \sqrt{2} \cdot 5,66 \cdot e^{-\frac{0.01}{0.02}} = 4,8 \text{ кА},$$

где  $T_a$  - постоянная затухания для стороны 10 кВ, 0,02 с, для упрощения расчетов принимается по [5].

Для нахождения ударного коэффициента для точки К-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [5]:

$$k_{y\partial} = 1 \cdot e^{-\frac{0.01}{T_a}}, \quad (47)$$

$$= 1 \cdot e^{-\frac{0.01}{0.02}} = 1,6.$$

Для нахождения ударного тока КЗ для точки К-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению,

[5]:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{no} \cdot 2^k \quad (48)$$

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 5,66 \cdot 1,6 \cdot 2^k = 12,8 \text{ кА}$$

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений по расчёту токов КЗ на стороне 10 кВ РП Амурпром комплекса ООО «Амурпром», для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 10.

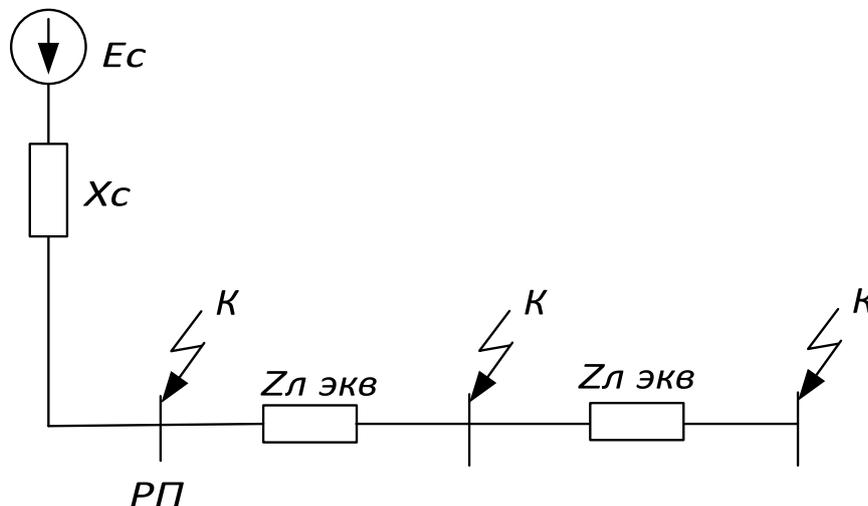
Таблица 10 – Токи КЗ на стороне 10 кВ РП Амурпром

Точка КЗ	$I_{по(3)}$ , кА	$i_a$ , кА	$i_{ат}$ , кА	$T_a$ , с	$K_{уд}$	$I_{y\partial}$ , кА
К-1	5,66	8	4,8	0,02	1,6	12,8

### 11.2 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ

Для определения уровня токов КЗ в принятой схеме электроснабжения комплекса ООО «Амурпром» проведём расчет токов КЗ на шинах РП, а также для оценки уровня токов КЗ на каждой магистрали, проведём расчёт для каждой ТП.

Для расчета токов короткого замыкания в сети 10 кВ необходимо составить схему замещения, на которой должны быть указаны все сопротивления, необходимые для расчета, рисунок 7, [5].



## Рисунок 7 - Схема замещения участка 10 кВ

Для нахождения сопротивления системы принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению, [5]:

$$\frac{U_{CP}}{\sqrt{3} I_{ПРПЮ}} = X_C \quad (49)$$

$$X_C = \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot 1.07} = 0.986 \text{ Ом};$$

где  $I_{ПРПЮ}$  – значение тока трехфазного КЗ на шинах 10 кВ РП;

$U_{CP}$  - напряжение на шинах РП в максимальном режиме, для которого определяется ток короткого замыкания.

Для нахождения сопротивления ВЛ до КТП 1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению, [5]:

$$R_{KL} = r_{уд} \cdot L ;$$

$$R_{KL} = 0.986 \cdot 0.44 = 0.434 \text{ Ом};$$

$$X_{KL} = x \cdot L_{уд} ;$$

$$X_{KL} = 0.05 \cdot 0.44 = 0.022 \text{ Ом},$$

где  $L$  - протяженность соответствующего участка линии 10 кВ.

Для нахождения тока короткого замыкания в начальный момент времени на РП и КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [5]:

$$I_{no} = \frac{U_{CPHH}}{\sqrt{3} \sqrt{R_{\square}^2 + X_{\square}^2}}; \quad (50)$$

$$I_{no} = \frac{10.5}{\sqrt{3} \sqrt{(1,07 + 0,022) + (0,434)^2}} = 4,92 \text{ кА},$$

где  $U_{CPHH}$  - напряжение ступени, на которой определяется ток короткого замыкания.

Для нахождения постоянной затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени на РП и КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [5]:

$$T_a = \frac{X_{\square}}{R_{\square} + 314}; \quad (51)$$

$$T_a = \frac{1,07 + 0,022}{0,434 \cdot 314} = 0,003 \text{ ,с}$$

Для нахождения коэффициента затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания на РП и КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению, [5]:

$$\square \frac{0,01}{\square}$$

$$K_{y\delta} \approx 0,01 e^{T_a}, \quad (52)$$

$$K_{y\delta} \approx 0,01 e^{\frac{0,01}{0,003}},$$

Для нахождения ударного тока короткого замыкания на РП и КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению, [5]:

Для нахождения тока двухфазного короткого замыкания в начальный момент времени на РП и КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению, [5]:

$$i_{y\delta} \approx K_{y\delta} \approx \frac{2 \sqrt{3} I_{\text{нотп}}^{(3)}}{2 \sqrt{3} I_{\text{нотп}}^{(3)}}, \quad (53)$$

$$i_{y\delta} \approx 0,01 \sqrt{2} \sqrt{4,92} \approx 7,2 \text{ кА}.$$

$$I_{\text{нотп}}^{(2)} \approx \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{нотп}}^{(3)}, \quad (54)$$

$$I_{\text{нотп}}^{(2)} \approx \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{4,92} \approx 4,28 \text{ кА}.$$

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений по расчёту токов КЗ на стороне 10 кВ ТП комплекса ООО «Амурпром», для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 11.

Таблица 11 – Токи КЗ внутреннего электроснабжения комплекса ООО «Амурпром»

Точка	L, км	$R_{\text{ЭКВ}}$ , Ом	$X_{\text{ЭКВ}}$ , Ом	$Z_{\text{ЭКВ}}$ , Ом	$I^{(3)}_{\text{ПО}}$ , кА	$I^{(2)}_{\text{ПО}}$ , кА
КТП 1	0.44	0.434	1.092	1.175	4.92	4,28
КТП 2	0.42	0.414	1.091	1.167	4.95	4,31
КТП 3	0.32	0.316	1.086	1.131	5.11	4,45
КТП 4	0.16	0.158	1.078	1.089	5.31	4,62
КТП 5	0.16	0.158	1.078	1.089	5.31	4,62
КТП 6	0.08	0.079	1.074	1.077	5.64	4,90
КТП 7	0.20	0.197	1.080	1.098	5.53	4,81

12 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ 10 кВ

## 12.1 Комплектное распределительное устройство 10 кВ

Выбирается КРУ серии СЭЩ-70 Самарского завода «Электрощит» [29].

Для выбора КРУ на РП Амурпром по напряжению установки принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}, \quad (55)$$

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

Для выбора КРУ на РП Амурпром по длительному току силовых цепей принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рмах}},$$

$$1600 \text{ А} \geq 717 \text{ А}.$$

Для нахождения номинального теплового импульса КРУ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [9]:

$$B_{\text{Кном}} \geq I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}, \quad (56)$$

$$B_{\text{Кном}} \geq 31,5^2 \cdot 1 \geq 992 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_{\text{терм}}$  - ток термической стойкости КРУ, 31,5 кА;

$t_{\text{терм}}$  - время термической стойкости КРУ, 1 с.

Для нахождения фактического теплового импульса КРУ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [9]:

$$B_k \approx I^{(3)}_{\text{ПО}2} \cdot (t_{\text{ов}} \cdot \sigma^t_{\text{СЕЛ}}), \quad (57)$$

$$B_k \approx 5,662 \cdot (0,055 \cdot 1,5) \approx 50 \text{кА} \cdot \text{с}.$$

где  $t_{\text{ов}}$  – собственное время отключения выключателя;

$\sigma^t_{\text{СЕЛ}}$  – ступень селективности РЗ, 1,5 с;

$I^{(3)}_{\text{ПО}}$  – максимальный ток КЗ на стороне 10 кВ РП Амурпром.

Для нахождения собственного времени отключения выключателя принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [9]:

$$t_{\text{ов}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{отк}}; \quad (58)$$

$$t_{\text{ов}} = 0,01 + 0,045 = 0,055 \text{ с};$$

где  $t_{\text{рз}}$  – время отключения релейной защиты, 0,01 с;  $t_{\text{отк}}$  –

время отключения контактов выключателя, 0,045 с.

Для проверки КРУ на РП Амурпром по термическому импульсу принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

$$B_{\text{к.ном}} \geq B_{\text{к}}, \quad (59)$$

$$992 \text{ кА}^2\text{с} \geq 50 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Для проверки КРУ на РП Амурпром по электродинамической стойкости принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

$$i_{скв} \geq i_{уд}, \quad (60)$$

$$51 \text{ кА} \geq 12,8 \text{ кА}.$$

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений по выбору и проверке КРУ на стороне 10 кВ РП комплекса ООО «Амурпром», для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 12.

Таблица 12 – Выбор и проверка КРУ 10 кВ

Характеристика	Условия выбора	Сравнение с каталожными данными	Вывод по сравнению
вводные ячейки, секционная ячейка			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}$	проходит
Длительный ток	$I_{ном} \geq I_{рmax}$	$1600 \text{ А} \geq 717 \text{ А}$	проходит
Динамическая стойкость	$i_{скв} \geq i_{уд}$	$51 \text{ кА} \geq 12,8 \text{ кА}$	проходит
Термическая устойчивость	$В_{к.ном} \geq В_{к}$	$992 \text{ кА}^2\text{с} \geq 50 \text{ кА}^2\text{с}$	проходит
линейные ячейки			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}$	проходит
Длительный ток	$I_{ном} \geq I_{рmax}$	$1600 \text{ А} \geq 198 \text{ А}$	проходит
Динамическая стойкость	$i_{скв} \geq i_{уд}$	$51 \text{ кА} \geq 8,3 \text{ кА}$	проходит
Термическая устойчивость	$В_{к.ном} \geq В_{к}$	$992 \text{ кА}^2\text{с} \geq 50 \text{ кА}^2\text{с}$	проходит

Выбранный тип КРУ проходит по всем условиям.

В КРУ устанавливаются ТТ, ТН, ОПН, применяется жёсткая ошиновка, опорные изоляторы.

## 12.2 Выключатели 10 кВ

На вводах и в секционных ячейках выбираются выключатели вакуумные типа ВВ/Тел-10–12,5-31,5/1000 УХЛ2 [27]. На линиях устанавливаются вакуумные выключатели типа ВВ/Тел-10–12,5-31,5/630 УХЛ2.

Для выбора выключателей 10 кВ на РП Амурпром по напряжению установки принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}},$$

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

Для выбора выключателей 10 кВ на РП Амурпром по длительному току силовых цепей принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}},$$

$$1000 \text{ А} \geq 717 \text{ А}.$$

Для выбора выключателей 10 кВ на РП Амурпром по отключающей способности принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

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

$$31,5 \text{ кА} \geq 5,66 \text{ кА}.$$

Для нахождения номинального теплового импульса выключателей 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$B_{\text{Кном}} \approx I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}},$$

$$B_{\text{Кном}} \approx 31,5^2 \approx 992 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_{\text{терм}}$  - ток термической стойкости выключателей 10 кВ, 31,5 кА;  $t_{\text{терм}}$  - время термической стойкости выключателей 10 кВ, 1 с.

Для нахождения фактического теплового импульса выключателей 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$B_{\text{к}} \approx I^{(3)}_{\text{ПО2}} \cdot (t_{\text{ов}} \cdot t_{\text{СЕЛ}}),$$

$$B_{\text{к}} \approx 5,662 \cdot (0,055 \cdot 1,5) \approx 50 \text{ кА}^2\text{с}.$$

где  $t_{\text{ов}}$  – собственное время отключения выключателя;

$t_{\text{СЕЛ}}$  - ступень селективности РЗ, 1,5 с;

$I^{(3)}_{\text{ПО}}$  - максимальный ток КЗ на стороне 10 кВ РП Амурпром.

Для проверки выключателей 10 кВ на РП Амурпром по термическому импульсу принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

$$B_{\text{к.ном}} \geq B_{\text{к}},$$

$$992 \text{ кА}_2\text{с} \geq 50 \text{ кА}_2\text{с}.$$

Для проверки выключателей 10 кВ на РП Амурпром по электродинамической стойкости принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

$$i_{ска} \geq i_{уд}$$

$$, 51 \text{ кА}$$

$$\geq 12,8$$

$$\text{кА}.$$

Для нахождения номинальной апериодической составляющей тока КЗ на стороне 10 кВ РП принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению, [10]:

$$i_{a.ном} \approx \sqrt{2} \cdot \sigma_n \cdot I_{ном\ откл}, \quad (61)$$

$$i_{a.ном} \approx \sqrt{2} \cdot 0.4 \cdot 31,5 \cdot 17,9 \approx 47,9 \text{ кА},$$

где  $\sigma_n$  – относительная величина апериодической составляющей в отключаемом токе короткого замыкания, 40%;

$I_{ном\ откл}$  – номинальный ток отключения выключателей 10 кВ на РП Амурпром.

Для проверки выключателей 10 кВ на РП Амурпром по отключению апериодической составляющей тока КЗ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

$$i_{a.ном} \geq i_{ат}; \quad (62)$$

$$17,9 \text{ кА} \geq 4,8 \text{ кА}.$$

Для проверки выключателей 10 кВ на РП Амурпром по отключению полного тока КЗ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

$$\sqrt{2} I_{(3)no} \leq i_{at} \leq \sqrt{2} I_{номотк} \leq 10 I_n ; \quad (63) \leq 100$$

$$\sqrt{2} 51,66 \leq 4,83 \leq \sqrt{2} 31,5 \leq 10 \leq 100 ;$$

$$\leq 100$$

$$12,8 \text{ кА} \leq 63 \text{ кА}.$$

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений по выбору и проверке выключателей на стороне 10 кВ РП комплекса ООО «Амурпром», для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 13.

Таблица 13 – Выбор и проверка выключателей 10 кВ

Характеристика	Условия выбора	Сравнение с каталожными данными	Вывод по сравнению
вводные ячейки, секционная ячейка			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	10 кВ $\geq$ 10 кВ	проходит
Длительный ток	$I_{ном} \geq I_{рmax}$	1000 А $\geq$ 717 А	проходит
Динамическая стойкость	$i_{ска} \geq i_{уд}$	51 кА $\geq$ 12,8 кА	проходит
Термическая устойчивость	$В_{к.ном} \geq В_{к}$	992 кА <sup>2</sup> с $\geq$ 50 кА <sup>2</sup> с	проходит
Отключающая способность	$I_{вкл} \geq I_{по}$	31,5 кА $\geq$ 5,66 кА	проходит
	$I_{откл} \geq I_{пт}$	31,5 кА $\geq$ 5,66 кА	проходит
	$i_{а.ном} \geq i_{ат}$	17,9 кА $\geq$ 4,8 кА	проходит

	$\sqrt{2} I_{по(3)} i_{at} \sqrt{2} I_{номотк} \dots$ $I_n$ $100$	$12,8 \text{ кА} \leq 63 \text{ кА}$	проходит
линейные ячейки			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}$	проходит
Длительный ток	$I_{ном} \geq I_{рmax}$	$1000 \text{ А} \geq 198 \text{ А}$	проходит
Динамическая стойкость	$i_{скв} \geq i_{уд}$	$51 \text{ кА} \geq 8,3 \text{ кА}$	проходит
Термическая устойчивость	$W_{к.ном} \geq W_k$	$992 \text{ кА}^2\text{с} \geq 50 \text{ кА}^2\text{с}$	проходит
Отключающая способность	$I_{вкл} \geq I_{по}$	$31,5 \text{ кА} \geq 5,66 \text{ кА}$	проходит
	$I_{откл} \geq I_{пт}$	$31,5 \text{ кА} \geq 5,66 \text{ кА}$	проходит
	$i_{a.ном} \geq i_{at}$	$17,9 \text{ кА} \geq 4,8 \text{ кА}$	проходит
	$\sqrt{2} I_{по(3)} i_{at} \sqrt{2} I_{номотк} \dots$ $I_n$ $100$	$12,8 \text{ кА} \leq 63 \text{ кА}$	проходит

Выключатели ВВ/Тел-10–12,5-31,5 УХЛ2 проверку проходят по всем параметрам.

### 12.3 Трансформаторы тока 10 кВ

На вводах и в секционной ячейке выбираются трансформаторы тока ТОЛ – 10-1 У1, [10].

Для выбора трансформаторов тока 10 кВ на РП Амурпром по напряжению установки принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$U_{ном} \geq U_{уст},$$

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

Для выбора трансформаторов тока 10 кВ на РП Амурпром по длительному току силовых цепей принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

$$I_{ном} \geq I_{рmax},$$

$$1000 \text{ А} \geq 717 \text{ А}.$$

Для нахождения номинального теплового импульса трансформаторов тока 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [10]:

$$B_{Кном} \approx I_{терм}^2 \cdot t_{терм},$$

$$B_{Кном} \approx 31,5^2 \cdot 1 \approx 992 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_{терм}$  - ток термической стойкости трансформаторов тока 10 кВ, 31,5 кА;

$t_{терм}$  - время термической стойкости трансформаторов тока 10 кВ, 1 с.

Для нахождения фактического теплового импульса трансформаторов тока 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [10]:

$$B_k \approx I_{(3)ПО}^2 \cdot (t_{ов} \cdot \sigma^t_{СЕЛ}),$$

$$B_k \approx 5,662^2 \cdot (0,055 \cdot 1,5) \approx 50 \text{ кА}^2\text{с}.$$

где  $t_{ов}$  – собственное время отключения выключателя;

$\sigma^t_{СЕЛ}$  - ступень селективности РЗ, 1,5 с;

$I_{(3)ПО}$  - максимальный ток КЗ на стороне 10 кВ РП Амурпром.

Для проверки трансформаторов тока 10 кВ на РП Амурпром по термическому импульсу принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

$$V_{к.ном} \geq V_{к},$$

$$992 \text{ кА}_{2с} \geq 50 \text{ кА}_{2с}.$$

Для проверки трансформаторов тока 10 кВ на РП Амурпром по электродинамической стойкости принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

$$i_{скв} \geq i_{уд},$$

$$51 \text{ кА} \geq 12,8 \text{ кА}.$$

Результаты проработки вторичной нагрузки трансформаторов тока на стороне 10 кВ РП комплекса ООО «Амурпром» для упрощения выкладок результатов оформлены как графическая таблица 14.

Таблица 14 – Вторичная нагрузка трансформаторов тока 10 кВ

Прибор	Тип	Нагрузка, ВА, фазы		
		А	В	С
Амперметр	АЦФ-11		0.5	
Счетчик э/э	СЕ303 S31 503 JAVZ	0.7		0.7
Ватметр	ВЦФ-11	0.5		0.5
Варметр	ВЦФ-11	0.5		0.5
Всего		1.7	0.5	1.7

Для нахождения номинального сопротивления вторичной обмотки трансформаторов тока 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [10]:

$$Z_{2H} \approx \frac{S_{2H}^2}{I_2^2}; \quad (64)$$

$$Z_{2H} \approx \frac{12.5^2}{5^2} \approx 0.5 \text{ Ом},$$

где  $S_{2H}$  - мощность вторичной обмотки трансформаторов тока 10 кВ, 12.5 ВА;

$I_{2H}$  - ток вторичной обмотки трансформаторов тока 10 кВ, 12.5 ВА;

Для нахождения фактического сопротивления нагрузки вторичной обмотки трансформаторов тока 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [10]:

$$z_{\text{приб}} \approx \frac{S_{2\text{приб}}}{I_2^2}; \quad (65)$$

$$z_{\text{приб}} \approx \frac{1.7}{5^2} \approx 0.07 \text{ Ом},$$

где  $S_{2\text{ПРИБ}}$  – мощность приборов, включенных во вторичную цепь трансформаторов тока, таблица 15.

Для нахождения фактического сопротивления проводов вторичной обмотки трансформаторов тока 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению [10]:

□□/

$$r_{\text{пр}} \approx \frac{\rho \cdot l}{q}, \quad (66)$$

$$r_{\text{пр}} = \frac{0,0283 \cdot 20}{4} \approx 0,14 \text{ Ом},$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление проводов коммутации вторичной цепи с алюминиевыми жилами, 0,0283 Ом·м/мм<sup>2</sup>;  $l$  - протяженность проводов коммутации вторичной цепи, наибольшая длина для наиболее удаленного прибора на щите индикации 20 м;  $q$  – сечение проводов коммутации вторичной цепи, 4 мм<sup>2</sup>.

Для нахождения фактического сопротивления вторичной обмотки трансформаторов тока 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$r_2 \approx r_{\text{пр}} \approx Z_{\text{приб}} \approx r_{\text{конт}}, \quad (67)$$

$$r_2 \approx 0,1 \cdot 0,14 \approx 0,07 \approx 0,31 \text{ Ом},$$

где  $r_{\text{конт}}$  - сопротивление контактов, 0,1 Ом.

Для проверки трансформаторов тока 10 кВ на РП Амурпром по нагрузке вторичной цепи принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

$$Z_{2Н} \geq r_2, \quad (68)$$

$$0,5 \text{ Ом} \geq 0,31 \text{ Ом}.$$

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений по выбору и проверке трансформаторов тока на стороне 10 кВ РП комплекса ООО «Амурпром», для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица

15.

Таблица 15 – Выбор трансформаторов тока 10 кВ на вводах и в секционной ячейке РП

Характеристика	Условия выбора	Сравнение с каталожными данными	Вывод по сравнению
вводные ячейки, секционная ячейка			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	10 кВ $\geq$ 10 кВ	проходит
Длительный ток	$I_{ном} \geq I_{рmax}$	800 А $\geq$ 717 А	проходит
класс точности $k_T$	$k_T \leq 0,5$	0,5 $\leq$ 0,5	проходит
Динамическая стойкость	$i_{скв} \geq i_{уд}$	30 кА $\geq$ 12,8 кА	проходит
Термическая устойчивость	$B_{к.ном} \geq B_k$	992 кА <sup>2</sup> с $\geq$ 50 кА <sup>2</sup> с	проходит
Вторичная нагрузка	$Z_2 \leq Z_{2ном}$	0,31 Ом $\leq$ 0,5 Ом	проходит
линейные ячейки			
Напряжение установки	$U_{ном} \geq U_{уст}$	10 кВ $\geq$ 10 кВ	проходит
Длительный ток	$I_{ном} \geq I_{рmax}$	200 А $\geq$ 198 А	проходит
класс точности $k_T$	$k_T \leq 0,5$	0,5 $\leq$ 0,5	проходит
Динамическая стойкость	$i_{скв} \geq i_{уд}$	30 кА $\geq$ 8,3 кА	проходит
Термическая устойчивость	$B_{к.ном} \geq B_k$	992 кА <sup>2</sup> с $\geq$ 50 кА <sup>2</sup> с	проходит
Вторичная нагрузка	$Z_2 \leq Z_{2ном}$	0,31 Ом $\leq$ 0,5 Ом	проходит

Трансформаторы тока ТОЛ – 10-1 У1 проверку проходят по всем параметрам.

#### 12.4 Трансформаторы напряжения 10 кВ

Выбирается трансформатор напряжения НАЛИ - 10 У2.

Для выбора трансформаторов напряжения 10 кВ на РП Амурпром по напряжению установки принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}},$$

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

Результаты проработки вторичной нагрузки трансформаторов напряжения на стороне 10 кВ РП комплекса ООО «Амурпром» для упрощения выкладок результатов оформлены как графическая таблица 16.

Таблица 16 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения 10 кВ

Прибор	Тип	S <sub>потр</sub> , ВА	Число катушек	cosφ	sinφ	Нагрузка вторичная		Количество приборов
						P <sub>2</sub> , Вт	Q <sub>2</sub> , Вар	
Вольтметр	ВЦФ-11	2	1	1	0	2	-	11
Ватметр	ВЦФ-11	1,5	2	1	0	3	-	11
Счетчик э/э	СЕ303 S31 503 JAVZ	5 Вт	5	0.38	0.925	9,5	23	11
		5 Вт	5	0.38	0.925	9,5	23	
Итого	-	-	-	-	-	24	46	33

Для нахождения фактической мощности вторичной обмотки трансформаторов напряжения 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$S_{2\phi} = \sqrt{P_{22}^2 + Q_{22}^2}, \quad (69)$$

$$S_{2\phi} = \sqrt{24^2 + 46^2} = 52 \text{ ВА},$$

где P<sub>2</sub> – активная мощность приборов вторичной обмотки трансформато-

ров напряжения 10 кВ, Вт;

$Q_2$  – реактивная мощность приборов вторичной обмотки трансформаторов напряжения 10 кВ, Вар.

Для проверки трансформаторов напряжения 10 кВ на РП Амурпром по нагрузке вторичной цепи принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$S_{2\Box} \leq S_{\text{ном}}, \quad (70)$$

$$52 \text{ ВА} \leq 100 \text{ ВА}.$$

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений по выбору и проверке трансформаторов напряжения на стороне 10 кВ РП комплекса ООО «Амурпром», для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 17.

Таблица 17 – Выбор трансформаторов напряжения 10 кВ

Характеристика	Условия выбора	Сравнение с каталожными данными	Вывод по сравнению
1 секция шин			
Напряжение установки	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$	10 кВ $\geq$ 10 кВ	проходит
класс точности $k_T$	$k_T \leq 0,5$	0,5 $\leq$ 0,5	проходит
Вторичная нагрузка	$S_{2\Box} \leq S_{\text{ном}}$	52 ВА $\leq$ 100 ВА	проходит
2 секция шин			
Напряжение установки	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}$	10 кВ $\geq$ 10 кВ	проходит
класс точности $k_T$	$k_T \leq 0,5$	0,5 $\leq$ 0,5	проходит
Вторичная нагрузка	$S_{2\Box} \leq S_{\text{ном}}$	52 ВА $\leq$ 100 ВА	проходит

Трансформаторы напряжения НАЛИ - 10 У2 проверку проходят по всем параметрам.

## 12.5 Шины 10 кВ

Принимаются однополосные алюминиевые шины прямоугольного сечения 60×10 мм<sup>2</sup> марки АДО.

Для выбора жестких шин 10 кВ на РП Амурпром по длительному току принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рмах}},$$

$$2000 \text{ А} \geq 717 \text{ А}.$$

Для нахождения минимального сечения по условию термической стойкости жестких шин КРУ 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$q_{\text{min}} \geq \frac{\sqrt{Bk}}{C}, \quad (71)$$

$$q_{\text{min}} \geq \frac{\sqrt{50 \cdot 10}}{91} \approx 77,6 \text{ мм}^2 \cdot \text{с}^2 \cdot \text{А}^{-2}$$

где  $C$  – температурный коэффициент для жестких шин, 91;  $Bk$  – фактический тепловой импульс.

Для выбора жестких шин 10 кВ на РП Амурпром по минимальному сечению принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

$$q_{\text{ФАКТ}} \geq q_{\text{min}}, \quad (72)$$

$$600 \text{ мм}^2 \geq 77,6 \text{ мм}^2.$$

Для расчета момента инерции и момента сопротивления шин 10 кВ необходимо определиться с расположением шин, рисунок 8.

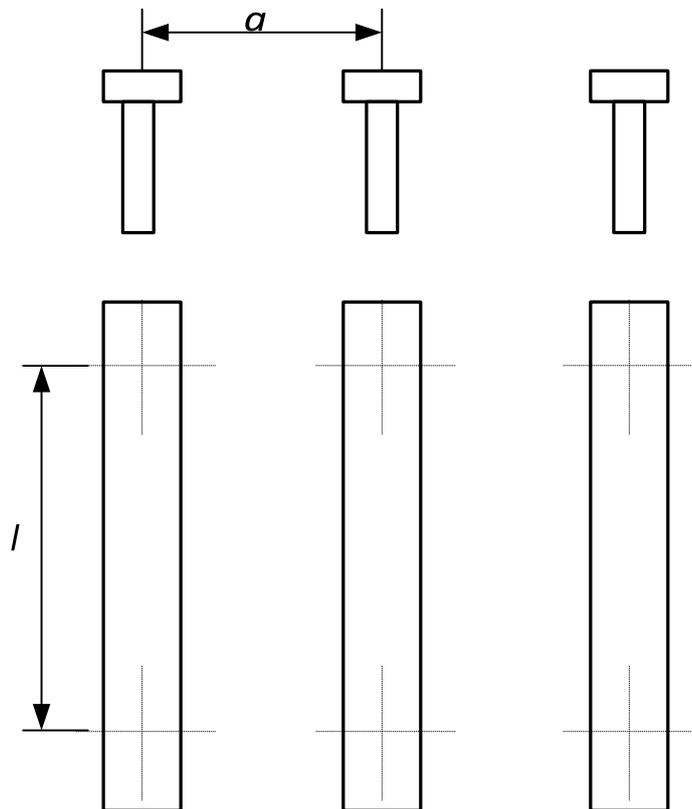


Рисунок 8 - Расположение шин плашмя

Для нахождения момента инерции шин КРУ 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$J \approx \frac{b h^3}{12}; \tag{73}$$

$$J \approx \frac{60 \cdot 10^3}{12} \approx 5000 \text{ мм}^4,$$

где  $b$  - ширина полосы шины, принимается 60 мм;

$h$  - толщина полосы шины, принимается 10 мм.

Для нахождения момента сопротивления шин КРУ 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$W \approx \frac{b^2 \cdot h}{6}, \quad (74)$$

$$10 \frac{2.}{6} \quad 3. \quad 0.8 \\ W \\ \approx 1,1 \text{ см}$$

Для нахождения длины пролёта между креплениями шин КРУ 10 кВ для обеспечения частоты собственных колебаний больше 200 Гц принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$l \approx \sqrt{\frac{173.2}{200}} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}}, \quad (75)$$

$$l \approx \sqrt{\frac{173.2}{200}} \cdot \sqrt{\frac{5000}{600}} \approx 1,58,$$

где  $l$  - длина пролёта между осями опорных изоляторов, м;

$J$  - момент инерции шины, мм<sup>4</sup>.

$q$  - поперечное сечение шин 60×10 мм<sup>2</sup> марки АДО, равное 600 мм<sup>2</sup>.

Для проверки шин 10 кВ на РП Амурпром по минимальной длине пролёта из условия обеспечения частоты собственных колебаний больше 200 Гц принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$I_{\text{ФАКТ}} \leq I_{\text{МИН}}, \quad (76)$$

$$0,7 \text{ м} \leq 1,58 \text{ м}.$$

Для КРУ СЭЩ-70 по заводским характеристикам пролёт между опорными изоляторами фазных шин составляет 0,7 м.

Для нахождения механического напряжения в материале шин КРУ 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$\sigma_{\text{РАСЧ}} \leq 3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{\frac{i_2 \cdot l_2}{W \cdot a}}, \quad (77)$$

$$\sigma_{\text{РАСЧ}} \leq 3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{\frac{12 \cdot 0,7^2}{1,1 \cdot 0,45^2}}, 7 \leq 0,7 \leq 3 \text{ МПа},$$

где  $W$  - момент сопротивления шины относительно оси, перпендикулярной действию усилия,  $\text{см}^3$ ,  $a$  – наименьшее расстояние между фазами для КРУ СЭЩ-70, по заводским характеристикам 0,45 м;  $l$  - длина пролета между опорными изоляторами для КРУ СЭЩ-70 по заводским характеристикам, 0,7 м.

Для проверки шин 10 кВ на РП Амурпром по механической прочности принимая во внимание размерность величин, прорабатываются решение по указанным выражениям:

$$\sigma_{\text{расч}} < \sigma_{\text{доп}}; \quad (78)$$

$$3 \text{ Мпа} < 40 \text{ Мпа};$$

$$\sigma_{\text{доп}} \leq 0.7 \sigma_{\text{разр}}; \quad (79)$$

$$3 \text{ Мпа} < 0.7 \cdot 60 = 42 \text{ Мпа}.$$

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений по выбору и проверке шин на стороне 10 кВ РП комплекса ООО «Амурпром», для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 18.

Таблица 18– Выбор шин 10 кВ

Характеристика	Условия выбора	Сравнение с каталожными данными	Вывод по сравнению
Длительно допустимый ток	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}}$	$2000 \text{ А} \geq 717 \text{ А}$	проходит
Минимальное сечение по условию термической стойкости	$q_{\text{ФАКТ}} \leq q_{\text{min}}$	$600 \text{ мм}^2 \geq 77,6 \text{ мм}^2$	проходит
Минимальная длина пролёта	$l_{\text{ФАКТ}} \leq l_{\text{МИН}}$	$0.7 \text{ м} \leq 1,58 \text{ м}$	проходит
Механическая прочность	$\sigma_{\text{расч}} < \sigma_{\text{доп}}$	$3 \text{ Мпа} < 40 \text{ Мпа}$	проходит
	$\sigma_{\text{доп}} \leq 0.7 \sigma_{\text{разр}}$	$3 < 0.7 \cdot 60 = 42 \text{ Мпа}$	проходит

Выбранный тип шин 60×10 мм<sup>2</sup> АДО проходит по всем условиям.

## 12.6 Трансформаторы собственных нужд

Для выбора мощности трансформаторов собственных нужд 10 кВ на РП комплекса ООО «Амурпром» необходимо определиться с составом

потребителей нагрузки собственных нужд РП, которые будут подключаться к стороне 0,4 кВ ТСН, рисунок 9.

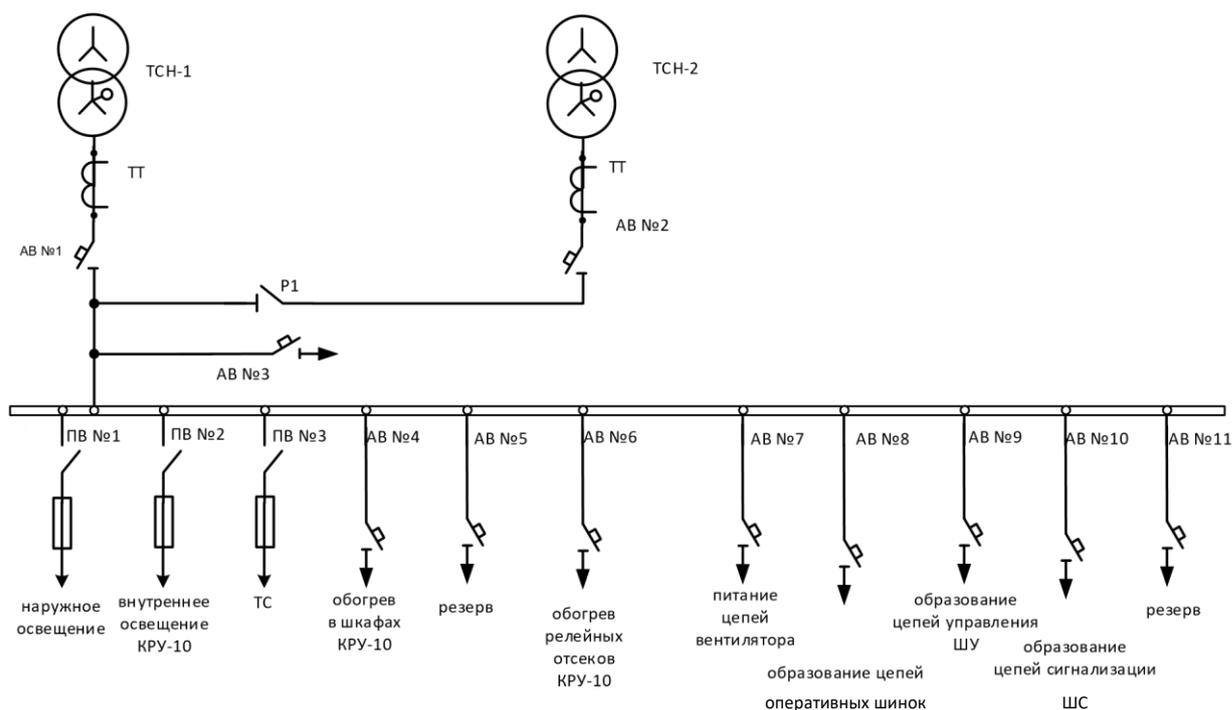


Рисунок 9 – Схема собственных нужд РП Амурпром

Составляется перечень потребителей нагрузки собственных нужд РП комплекса ООО «Амурпром», для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 19.

Таблица 19 – Потребители собственных нужд РП комплекса ООО «Амурпром»

Потребители собственных нужд	Руст, кВт	$tg\phi$	Qуст, кВт	Sуст, кВт
наружное освещение	8,0	0,17	1,4	8,1
внутреннее освещение КРУ-10	10,0	0,17	1,7	10,1
телесигнализация	10,0	0,3	3,0	10,4
Обогрев в шкафах КРУ-10	150,0	0,5	75,0	167,7
Обогрев релейных отсеков КРУ-10	40,0	0,2	8,0	40,8
Питание цепей вентилятора	15,0	0,8	12,0	19,2
образование цепей оперативных шин	5,0	0,3	1,5	5,2
Образование цепей управления ШУ	5,0	0,3	1,5	5,2
Образование цепей сигнализации ШС	5,0	0,3	1,5	5,2
цепи питания РНТ	5,0	0,3	1,5	5,2
<b>Итого</b>	<b>253</b>		<b>107,1</b>	<b>275</b>

Для нахождения мощности трансформаторов собственных нужд 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$S_T \approx K_n \frac{S^{всТ} \approx K_c}{K_n}, \quad (80)$$

$$S_T \approx \frac{275 \cdot 0,8}{1,4} \approx 157 \text{ кВА.}$$

где  $K_c$  - коэффициента спроса, 0,8 [11];

$K_n$ - коэффициент допустимой аварийной перегрузки, 1,4 [11];

Мощность ТСН принимается из ближайшей большей стандартной номинальной мощности – 160 кВА, Тип трансформаторов – ТМ 160/10.

### 12.7 Предохранители 10 кВ ТСН

Выбирается предохранитель ПКТ101-10-У1. Для нахождения максимального расчётного тока трансформаторов собственных нужд 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению, А:

$$I_{p \text{ макс}} \approx \frac{S_{ТСН}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (81)$$

$$I_{p \text{ макс}} \approx \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 10} \approx 9 \text{ А.}$$

Для выбора предохранителей 10 кВ защиты ТСН на РП Амурпром по напряжению установки принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}},$$

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ}.$$

Для выбора предохранителей 10 кВ защиты ТСН на РП Амурпром по длительному току силовых цепей принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{рmax}},$$

$$20 \text{ А} \geq 9 \text{ А}.$$

Для проверки предохранителей 10 кВ защиты ТСН на РП Амурпром по отключающей способности принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

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

$$20 \text{ кА} \geq 5,66 \text{ кА}.$$

Выбранный тип предохранителя ПКТ101-10-У1. проходит по всем условиям.

### **12.8 Изоляторы 10 кВ**

Выбираем опорные изоляторы марки ОНШП-10-20 УХЛ1.

Для нахождения допустимой механической нагрузки на головку изолятора 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

Допустимая нагрузка на головку изолятора определяется как

$$F_{\text{доп}} \leq 0.6 \cdot F_{\text{разр}}, \quad (82)$$

$$F_{\text{доп}} \leq 0.6 \cdot 3000 \leq 1800 \text{ Н.}$$

где  $F_{\text{разр}}$  – разрушающая предельная механическая нагрузка на опорные изоляторы марки ОНШП-10-20 УХЛ1, 3000 Н [27].

Для нахождения расчётной механической нагрузки на головку изолятора 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$F_{\text{расч}} \leq \sqrt[3]{\frac{i_{y2\theta} \cdot l}{\pi \cdot 10}}, \quad (83) \text{ а}$$

$$F_{\text{расч}} \leq 3 \sqrt[3]{\frac{12700^2 \cdot 0.9}{0.45}} \cdot 10^7 \leq 56 \text{ Н.}$$

Для проверки опорных изоляторов 10 кВ КРУ на РП Амурпром по механической прочности при КЗ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$F_{\text{доп}} \geq F_{\text{расч}}; \quad (84)$$

$$1800 \text{ Н} \geq 56 \text{ Н.}$$

Выбранный тип изоляторов ОНШП-10-20 УХЛ1 проходит по всем условиям.

### 12.9 Ограничители перенапряжения

На каждой секции шин РП в ячейке трансформатора напряжения размещаются ОПН марки ОПН – РВ/TEL У1.

Для нахождения энергии поглощения ограничителей перенапряжения 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$U \approx U_{ocm} - U_{ocm} \approx 2 T n, \quad (85)$$

$$\mathcal{E} \approx z$$

$$\mathcal{E} \approx \frac{60-43}{485} \approx 100 \cdot 2 \cdot 7,94 \cdot 10^6 \approx 20 \cdot 11 \text{ кВт.}$$

где  $U$  - величина неограниченного перенапряжения ограничителей перенапряжения ОПН – РВ/TEL У1, 60 кВ;

$U_{ocm}$  - остающееся напряжение ограничителей перенапряжения ОПН – РВ/TEL У1, 43 кВ;  $z$  - волновое сопротивление провода, 485 Ом;

$n$  - количество последовательных токовых импульсов;  $T$

- время распространения волны.

Для нахождения времени распространения волны принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$l$$

$$T \approx \frac{l}{v}, \quad (86)$$

$$T \approx \frac{l}{2500^6}$$

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

где  $l$  - длина защищенного подхода, 2500 м;  $\varphi$  - скорость распространения волны.

Для нахождения удельной энергоёмкости ограничителей перенапряжения 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$\mathcal{E}^* \approx \frac{\mathcal{E}}{U_{номОПН}}, \quad (87)$$

$$\mathcal{E}^* \approx \frac{11,3}{10} \approx 1,13 \text{ кВТ/кВ}.$$

Выбирается ОПН-10 кВ с классом 2 энергоёмкости (до 2,3 кДж/кВ) [16].

#### 12.10 Проверка линий 10 кВ на воздействие токов КЗ

Предварительно выбраны провода ВЛ марки СИП-3-(3х35).

Для нахождения времени воздействия токов КЗ на провода линий 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$t_{возд} \approx t_{отк} \approx \varphi t, \quad (88)$$

$$t_{возд} \approx 0,5 \approx 0,055 \approx 0,555,$$

где  $t_{отк}$  - время отключения головного выключателя, принимается 0,055 с для вакуумного выключателя;

$\varphi t$  - степень селективности защиты, по мере удаления от шин РП принимается 0,5 с для каждой ТП.

Для нахождения номинального теплового импульса проводов СИП-3-35 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению, [7]:

$$B_{\text{Кном}} \approx I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}},$$

$$B_{\text{Кном}} \approx 3,5^2 \cdot 3 \approx 336,8 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $I_{\text{терм}}$  - ток термической стойкости проводов СИП-3-35 10 кВ, 3,5 кА;

$t_{\text{терм}}$  - время термической стойкости проводов СИП-3-35 10 кВ, 3 с.

Для нахождения фактического теплового импульса проводов СИП-3-35 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для КТП-1:

$$B_{\text{к}} \approx I_{(3)\text{ПО2}}^2 \cdot t_{\text{возд}},$$

$$B_{\text{к}} \approx 4,922 \cdot 0,555 \approx 13,4 \text{ кА}^2\text{с}.$$

где  $I_{(3)\text{ПО}}$  - ток КЗ на стороне 10 кВ КТП-1 по линии подключения КТП-1 – РП 10 кВ.

Для проверки проводов СИП-3-35 10 кВ по термическому импульсу принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для КТП-1:

$$B_{\text{к.ном}} \geq B_{\text{к}},$$

$$36,8 \text{ кА}^2\text{с} \geq 13,4 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений по выбору и проверке проводов СИП-3-35, для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 20.

Таблица 20 – Проверка проводов ВЛ-10 кВ по термической стойкости

Точка	I <sub>(3)по</sub> , кА	Δt, сек.	Вкном, кА <sup>2</sup> с	Вк, кА <sup>2</sup> с
КТП 1	4.92	0,5	36,8	13,4
КТП 2	4.95	0,5	36,8	13,6
КТП 3	5.11	0,5	36,8	14,5
КТП 4	5.31	0,5	36,8	15,6
КТП 5	5.31	0,5	36,8	15,6
КТП 6	5.64	0,5	36,8	17,6
КТП 7	5.53	0,5	36,8	17,0

Все выбранные провода СИП-3-35 проходят по условию термической стойкости.

### 12.11 Выключатели нагрузки 10 кВ

На ТП устанавливаем выключатели нагрузки ВМП - 10/400 [27].

Для нахождения тока на стороне ВН ТП в режиме перегрузки на 40% принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для КТП-1:

$$I_{РВН} \approx \frac{1,4 \cdot S_{НОМ ТП}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (89)$$

$$I_{РВН} \approx \frac{1,4 \cdot 600}{\sqrt{3} \cdot 10} \approx 129 \text{ А}.$$

Для выбора выключателей нагрузки по длительному току принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для КТП-1:

$$I_{НОМ} \geq I_{P\text{ ВН}};$$

$$400 \text{ А} \geq 129 \text{ А}.$$

Для нахождения номинального теплового импульса выключателей нагрузки принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению, [10]:

$$B_{Кном} \geq I_{терм}^2 \cdot t_{терм},$$

$$B_{Кном} \geq 12,5 \cdot 156^2 \geq 25 \text{ кА}^2\text{с},$$

где  $I_{терм}$  - ток термической стойкости выключателей нагрузки, 12,5 кА;  $t_{терм}$  - время термической стойкости выключателей нагрузки, 1 с.

Для нахождения фактического теплового импульса выключателей нагрузки принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для КТП-1, [10]:

$$B_{Кр} \geq I_{(3)ПО2} \cdot (t_{отк} \cdot T_a);$$

$$B_{Кр} \geq 4,92^2 \cdot (0,055 \cdot 0,5) \geq 13,43 \text{ кА}^2\text{с};$$

где  $t_{отк}$  - собственное время отключения выключателя нагрузки ВНП - 10/400, 0.055с;

$t_{терм}$  - время допустимого термического воздействия выключателя нагрузки ВНП - 10/400, 0,5 с;

$I_{терм}$  - допустимый ток термического воздействия выключателя нагрузки  
ВНП - 10/400, 12,5 кА.

Для проверки выключателей нагрузки по термическому импульсу принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для КТП-1:

$$V_{к.ном} \geq V_{к,}$$

$$156,25 \text{ кА}^2\text{с} \geq 13,43 \text{ кА}^2\text{с}.$$

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений по выбору и проверке выключателей нагрузки, для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 21.

Таблица 21 – Проверка выключателей нагрузки

№ ТП	$I_{р}$ тп, А	$I_{н}$ , А	$V_{кр}$ , кА <sup>2</sup> с	$V_{кн}$ , кА <sup>2</sup> с	$I_{уд}$ , кА	$I_{дин}$ , кА
КТП 1	129	400	13,4	156,25	7,2	31,5
КТП 2	81	400	13,6	156,25	7,3	31,5
КТП 3	51	400	14,5	156,25	7,5	31,5
КТП 4	81	400	15,6	156,25	7,8	31,5
КТП 5	129	400	15,6	156,25	7,8	31,5
КТП 6	202	400	17,6	156,25	8,3	31,5
КТП 7	51	400	17,0	156,25	8,1	31,5

Все выбранные выключатели нагрузки проходят по условиям проверки.

### 12.12 Предохранители 10 кВ ТП

Выбираем предохранители марки ПКТ101-10, [27].

Для выбора предохранителей ТП по длительному току принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для КТП-1:

$$I_{НОМ} \square I_{вст} \square I_{Р ВН}; \quad (90)$$

$$200 \text{ A} \geq 150 \text{ A} \geq 129 \text{ A},$$

где  $I_{НОМ}$  - номинальный ток предохранителей 10 кВ, 200 А;

$I_{вст}$  - ток плавкой вставки предохранителей 10 кВ, 150 А;

Для проверки предохранителей 10 кВ ТП по отключающей способности принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению для вводных ячеек:

$$I_{откл} \geq I_{по ном}; \quad (91)$$

$$20 \text{ кА} \geq 4,92 \text{ кА}.$$

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений по выбору и проверке предохранителей ТП, для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 22.

Таблица 22 – Проверка предохранителей

№ ТП	$I_{Р ТП}$ , А	$I_{Н}$ , А	$I_{вст}$ , А	$I_{(3)по}$ , кА	$I_{по ном}$ , кА
КТП 1	129	200	150	4.92	20
КТП 2	81	100	100	4.95	20
КТП 3	51	100	80	5.11	20
КТП 4	81	100	100	5.31	20
КТП 5	129	200	150	5.31	20
КТП 6	202	250	250	5.64	20
КТП 7	51	100	80	5.53	20

Все выбранные предохранители ТП проходят по условиям проверки.

### 13 РЕЖИМЫ НЕЙТРАЛЕЙ СЕТЕЙ

Для нахождения емкостного тока сетей 10 кВ комплекса ООО «Амурпром» принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$I \approx \frac{U l n}{c}, \quad (92) \text{ с } 180$$

$$I \approx \frac{10 \cdot 1,78}{c} \approx 0,2 \text{ А},$$

где  $l$  - длина электрически связанной сети 10 кВ комплекса ООО «Амурпром», по плану расположения сетей 1,78 км;

$U$  - междуфазное напряжение, 10 кВ;  $n$  - число линий на одной секции шин.

Для проверки обоснованности компенсации емкостного тока в сети 10 кВ комплекса ООО «Амурпром» принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$I \approx I; \quad (93) \text{ с с доп}$$

$$0,29 < 20 \text{ А.}$$

Компенсация токов замыкания на землю не проводится для сети 10 кВ комплекса ООО «Амурпром».

## 14 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

На РП устанавливаются блоки микропроцессорной защиты ЗАО «Радиусавтоматика» по типу «Micom P-122» [19].

### 14.1 Токовая отсечка без выдержки времени

Для нахождения коэффициента трансформации трансформатора тока линии РП-КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$n_T \square \frac{I_{ТТВН}}{I_{ТТНН}}; \quad (94)$$

$$n_T \square \frac{100}{5} \square 20 ,$$

где  $I_{ТТВН}$  - номинальный ток первичной обмотки трансформаторов тока линии РП-КТП-1, 100 А;

$I_{ТТНН}$  - номинальный ток вторичной обмотки трансформаторов тока линии РП-КТП-1, 5 А.

Для нахождения первичного тока срабатывания токовой отсечки линии РП-КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$I_{с.з.} = k_n \cdot I_{к.мах}^{(3)}, \quad (95)$$

$$I_{с.з.} = 1,1 \cdot 4,92 = 5,411 \text{ кА},$$

где  $k_n$  – коэффициент надежности, 1,1, [19];

$I_{к.мах}^{(3)}$  – максимальный ток КЗ на шинах КТП-1.

Для проверки чувствительности токовой отсечки линии РП-КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$K_{ч} \geq \frac{I_{кз(2)}}{I_{сз.}} \geq 2, \quad (96)$$

$$K_{ч} \geq \frac{4,28}{4,92} \geq 0,79 \geq 2$$

где  $I_{кз.}^{(2)}$  - минимальный ток КЗ на шинах КТП-1.

Для нахождения вторичного тока срабатывания токовой отсечки линии РП-КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$I_{ср.} \geq \frac{I_{сз.}}{k_{сх} \cdot n_T} \quad (97)$$

$$I_{ср.} \geq \frac{5411}{20} \geq 271 \text{ А};$$

где  $k_{сх}$  - коэффициент схемы, 1;

Для нахождения выдержки времени срабатывания токовой отсечки линии РП-КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$t_{c.z.TO} = t_{p.z.} + \Delta t, \quad (98)$$

$$t_{c.z.TO} = 0,03 + 0,1 = 0,13 \text{ с};$$

где  $\Delta t$  – выдержка время срабатывания токовой отсечки, 0,1 с;  
 $t_{p.z.}$  – время отклика терминала Micom P-122, 0,03 с.

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений по выбору уставок срабатывания токовой отсечки, для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 23.

Таблица 23 – Расчёт токовой отсечки

Линия	$I_{(3)по}$ , кА	$I_{(2)по}$ , кА	$I_p$ , А	$I_{НТТ}$ , А	$I_{c.z.}$ кА	$n_T$	$I_{c.p.}$ А	$K_{ч}$
КТП 1	4,92	4,28	60	100	5,411	20	271	0,79
КТП 2	4,95	4,31	36	50	5,449	10	545	0,79
КТП 3	5,11	4,45	30	50	5,622	10	562	0,79
КТП 4	5,31	4,62	49	50	5,836	10	584	0,79
КТП 5	5,31	4,62	56	100	5,836	20	292	0,79
КТП 6	5,64	4,90	99	100	6,200	20	310	0,79
КТП 7	5,53	4,81	23	50	6,081	10	608	0,79

#### 14.2 Максимальная токовая защита линий

Для нахождения первичного тока срабатывания максимальной токовой защиты линии РП-КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$I_{c.z.} = I_{раб.} \cdot k_H \cdot k_{c.z.} / k_{\epsilon} \quad (99)$$

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

где  $k_H$  – коэффициент надежности, 1,1, [19];

$k_{c.з.}$  – коэффициент запуска двигателей, 1, [19];

$k_8$  – коэффициент возврата, 0,95, [19];

$I_{раб.}$  – максимальный рабочий ток провода СИП-3-(3х35), 200 А.

Для нахождения вторичного тока срабатывания максимальной токовой защиты линии РП-КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$\begin{aligned} I_{c.p.} &= I_{c.з.} \cdot k_{cx} / n_T, \\ I_{c.p.} &= 232 \cdot 1 / (20) = 12 \text{ А.} \end{aligned} \quad (100)$$

где  $k_{cx}$  – коэффициент схемы, 1, [18];

Для проверки чувствительности максимальной токовой защиты линии РП-КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$K \geq \frac{K_* \cdot I_{(2)}}{I_{c.з.}} \geq 1,5, \quad (101)$$

$$K_q \geq \frac{0,14 \cdot 28}{0,232} \geq 1,9 \geq 1,5,$$

Для нахождения выдержки времени срабатывания максимальной токовой защиты линии РП-КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$t_{c.з.МТЗ} = t_{c.з.ТО} + \Delta t + t_{p.з.}, \quad (102)$$

$$t_{c.з.МТЗ} = 0,13 + 0,1 + 0,03 = 0,26 \text{ с;}$$

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений по выбору уставок срабатывания токовой отсечки, для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 24.

Таблица 24 – Расчёт МТЗ

Линия	$I_{(3)по}$ , кА	$I_{(2)по}$ , кА	$I_p$ , А	$I_{НТТ}$ , А	$I_{с.з.}$ кА	$I_{с.р.}$ А	$K_{ч}$
КТП 1	4,92	4,28	60	100	0,232	12	1,85
КТП 2	4,95	4,31	36	50	0,232	23	1,86
КТП 3	5,11	4,45	30	50	0,232	23	1,92
КТП 4	5,31	4,62	49	50	0,232	23	1,99
КТП 5	5,31	4,62	56	100	0,232	12	1,99
КТП 6	5,64	4,90	99	100	0,232	12	2,12
КТП 7	5,53	4,81	23	50	0,232	23	2,08

### 14.3 Защита от однофазных замыканий на землю

Для нахождения тока замыкания на землю линии РП-КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$I_{повр.л} = \frac{U \ln \square \square}{180},$$

$$I_{повр.л} = \frac{10 \cdot 0,44}{180} \square 0,02A.$$

Для нахождения тока через трансформатор тока нулевой последовательности линии РП-КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$I_{ТНП.повр.л} = I_{ЗНЗ} - I_{повр.л}, \tag{103}$$

$$I_{ТНП.повр.л} = 0,2 - 0,02 = 0,17 \text{ А.}$$

где  $I_{ЗНЗ}$  – суммарный емкостной ток сети,  $I_{ЗНЗ} = 0,2$  А.

Для нахождения тока срабатывания защиты от замыкания на землю линии РП-КТП-1 принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$I_{с.з.} = I_{ТНП.повр.л} / k_{ч} \quad (104)$$

$$I_{с.з.} = 0,17 / 1,5 = 0,12 \text{ А.}$$

Получив схожие результаты проработки аналогичных решений по выбору уставок срабатывания защиты от замыкания на землю, для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 25.

Таблица 25 – Расчёт ЗНЗ

Линия	$I_{повр.л}, \text{ А}$	$I_{ТНП.повр.л}, \text{ А}$	$I_{с.з.}, \text{ А}$
КТП 1	0,02	0,17	0,12
КТП 2	0,02	0,17	0,12
КТП 3	0,02	0,18	0,12
КТП 4	0,01	0,19	0,13
КТП 5	0,01	0,19	0,13
КТП 6	0,00	0,19	0,13
КТП 7	0,01	0,19	0,12

#### 14.4 Устройства автоматического включения резерва

Устройства автоматического включения резерва устанавливаются на шинах 10 кВ РП Амурпром и на шинах 0,4 кВ ТП.

Для нахождения напряжения срабатывания АВР на РП Амурпром и ТП принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$U_{с.з.} = (0,25 \div 0,40) \cdot U_{ном}, \quad (105)$$

$$U_{c.зРП} = 0,4 \cdot 10000 = 400 \text{ В};$$

$$U_{c.зТП} = 0,4 \cdot 400 = 160 \text{ В}.$$

Для нахождения времени срабатывания АВР на РП Амурпром принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$t_{c.з.АВР РП} = t_{c.з.МТЗ} + t_{p.з.}, \quad (106)$$

$$t_{c.з.АВР РП} = 0,26 + 0,03 = 0,29 \text{ с};$$

Для нахождения времени срабатывания АВР на ТП принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$t_{c.з.АВР ТП} = t_{c.з.АВР РП} + t_{p.з.}, \quad (107)$$

$$t_{c.з.АВР ТП} = 0,29 + 0,03 = 0,32 \text{ с}.$$

Все комплекты защит выбраны в соответствии с требованиями к чувствительности и селективности.

## 15 ЗАЗЕМЛЕНИЕ РП

Для нахождения параметров заземляющего устройства РП Амурпром. Заземляющее устройство представляет собой систему из вертикальных и горизонтальных электродов диаметром 10 мм, соединённых между собой сваркой [17].

Для нахождения стационарного сопротивления одного вертикального электрода РП Амурпром принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$R_{ЭВ} = \frac{80}{\rho_{\text{грунт}}} \ln \frac{4l_B}{\pi d} \left( 2h_3 + l_B \right), \quad (108)$$

$$R_{ЭВ} = \frac{80}{0,02} \ln \frac{4 \cdot 2}{\pi \cdot 0,01} \left( 2 \cdot 0,7 + 2 \right) = 360 \text{ Ом},$$

где  $l_B$  - длина вертикального электрода, м;  $h_3$

- глубина заложения заземлителя, м;

$\rho_{\text{грунт}}$  - удельное сопротивление грунта, по [17] для неводоносных песков принимается 80 Ом·м;  $d$  - диаметр электродов, м.

Для нахождения стационарного сопротивления одного горизонтального электрода РП Амурпром принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$R_{\text{ЭГ}} = \frac{\rho_{\text{грунт}}}{2l} \ln \frac{1.5l}{\sqrt{2dh_3}}, \quad (109)$$

$$R_{\text{ЭГ}} = \frac{80}{2} \ln \frac{1.5 \cdot 2}{\sqrt{2 \cdot 0,02 \cdot 0,7}} = 13 \text{ Ом},$$

где  $l$  - длина горизонтальной полосы, м.

Для нахождения стационарного сопротивление заземлителя РП Амурпром принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$R = \frac{R_{\text{ЭГ}} \cdot R_{\text{ЭВ}}}{n_B R_{\text{ЭГ}} + n_{\Gamma} R_{\text{ЭВ}}}, \quad (110)$$

$$R = \frac{36 \cdot 13}{0,75 \cdot (4 \cdot 36 + 4 \cdot 13)} = 3,2 \text{ Ом},$$

где  $\alpha$  - коэффициент использования заземлителя РП Амурпром, 0,75;

$n_B$  - число вертикальных электродов;  $n_H$  - число горизонтальных электродов;

Для нахождения импульсного сопротивления вертикального электрода заземлителя РП Амурпром принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$R_{uB} = \frac{\alpha^{uB} \cdot R_{\Sigma B}}{\alpha \cdot n_B} \quad (111)$$

$$R_{uB} = \frac{1 \cdot 36}{0,75 \cdot 4} = 12 \text{ Ом},$$

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

Для нахождения удельной индуктивности на единицу длины горизонтального заземлителя РП Амурпром принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$L_0 = 0,2 \cdot \frac{l}{r} \cdot \ln \frac{1}{0,31} \quad (112)$$

$$L_0 = 0,2 \cdot \frac{3,25}{0,01} \cdot \ln \frac{1}{0,31} = 1,09 \text{ мкГн м/}.$$

Для нахождения импульсного коэффициента протяженного заземлителя РП Амурпром принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$\begin{aligned} R_{u\Gamma} &= \frac{L^{\phi} \cdot I}{3 \cdot \phi \cdot R_{\text{ЭГ}}}, \\ R_{u\Gamma} &= \frac{1,09 \cdot 3,25}{3 \cdot 2 \cdot 13} = 1,04, \end{aligned} \quad (113)$$

где  $\phi$  - длительность фронта тока молнии, 2 мкс.

Для нахождения импульсного сопротивления заземлителя РП Амурпром принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$R_{u\Gamma} = \rho_u \cdot R_{\text{ЭГ}}, \quad (114)$$

$$R_{u\Gamma} = 1,04 \cdot 13 \cdot 14 = 19,7 \text{ Ом.}$$

Для нахождения общего импульсного сопротивления заземлителя РП Амурпром принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$\begin{aligned} R_u &= \frac{R_{u\Gamma} \cdot R_{uB}}{\rho_u \cdot n \cdot R_B + R_{u\Gamma} + R_{uB}}, \end{aligned} \quad (115)$$

12 14□

$R_u \square \text{_____} \square 2,1 \text{ Ом.}$

0,75 4 12□□ □□ □4 14□

Получив результаты проработки аналогичных решений по выбору параметров заземлителя РП Амурпром, для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 26.

Таблица 26 – Расчёт заземления РП

Данные для расчёта	Расчётная величина
$L_B, \text{ м}$	2
$H_3, \text{ м}$	0,7
$R_{уд}, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	80
$D_{\text{Э}} \text{ м}$	0,02
$R_{ст в}, \text{ Ом}$	36
$L_{Г}, \text{ м}$	3,25
$R_{ст Г}, \text{ Ом}$	13
$N_B, \text{ шт}$	4
$N_{Г}, \text{ шт}$	4
$R_{ст}, \text{ Ом}$	3,2
$R_{имп в}, \text{ Ом}$	12
$L_{уд}, \text{ мкГн/м}$	1,09
$a_{имп}$	1,04
$R_{имп Г}, \text{ Ом}$	14
$R_{имп}, \text{ Ом}$	2,1

Для проверки степени обеспечения электробезопасности РП Амурпром принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$R_{СТ} \leq R_{СТ \text{ доп}}, \quad (116)$$

$$3,2 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом},$$

где  $R_{СТ \text{ доп}}$  – предельное стационарное сопротивление заземлителя по ПУЭ, 4 Ом для РП.

Для проверки степени обеспечения молниезащиты РП Амурпром принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$R_{ИМП} \leq R_{ИМП \text{ доп}}, \quad (117)$$

$$2,1 \text{ Ом} \leq 9 \text{ Ом},$$

где  $R_{ИМП \text{ доп}}$  – предельное импульсное сопротивление заземлителя по ПУЭ, 9 Ом для РП.

Устройство заземлителя РП Амурпром показано на рисунке 10.

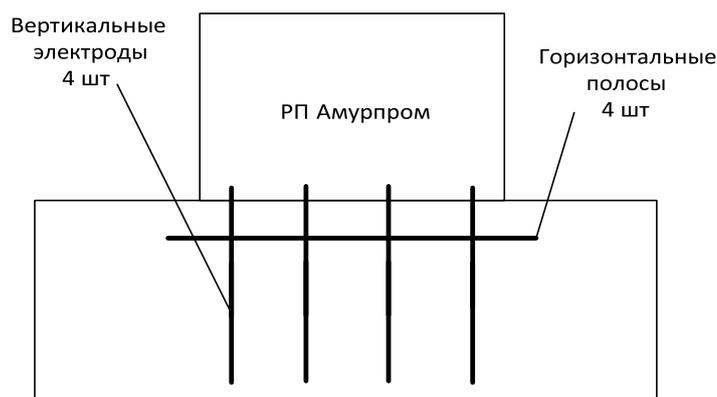


Рисунок 10 – Общий вид устройства заземлителя РП Амурпром

## 16 АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ПРЕДЛОЖЕННОГО ВАРИАНТА КОНФИГУРАЦИИ

Расчет надежности произведем аналитическим методом [15].

Составляется расчетная схема (рисунок 11), полная расчетная схема содержит 2 петли с количеством трансформаторных подстанций 11 в одной и 9 в другой петле.

Расчетная схема для анализа надежности представлена на рисунке 12. В схему замещения (рисунок 20) входят те элементы, которые влияют на надежность системы электроснабжения, к таким элементам относятся: линии, выключатели, трансформаторы, сборные шины.

Учитывается что: трансформаторы работают отдельно, секционный выключатель РП Амурпром находятся в положении выключено, поэтому все резервированные радиальные участки схемы работают отдельно.

Получив результаты проработки справочных данных по элементам сети 10 кВ комплекса ООО Амурпром, для упрощения выкладок результатов оформлена графическая таблица 27.

Таблица 27 – Параметры надежности элементов схемы

Оборудование	Показатели надежности			
	Средний параметр потока отказов $\lambda_0$ , 1/год, 1/ км	Среднее время восстановления $t_B$ , ч	Частота ремонтов $\lambda_{пр}$ , 1/год	Продолжительность ремонтов $t_p$ , ч
Вакуумные выключатели	0,004	8	0,18	15
Выключатели нагрузки	0,015	20	0,2	40
СИП 3	0,9	5	0,17	-

Шина	0,03	5	0,166	5
------	------	---	-------	---

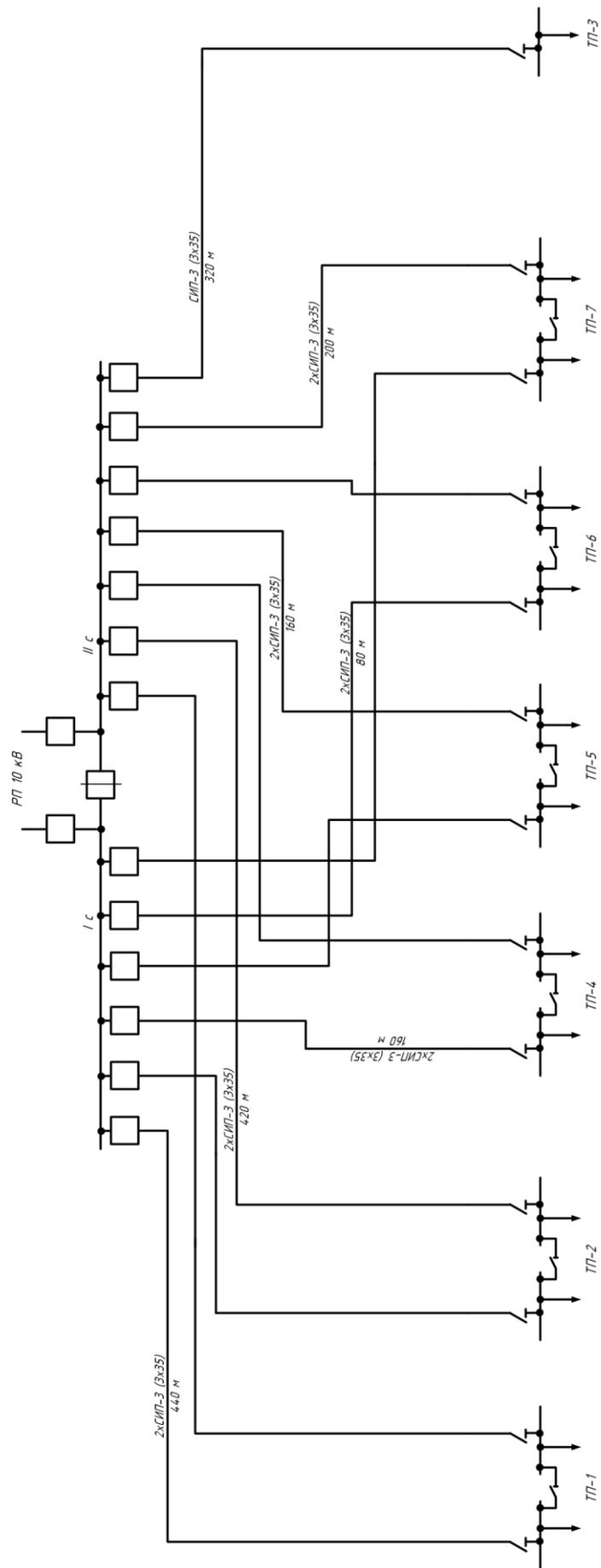


Рисунок 11 - Расчетная схема сети 10 кВ

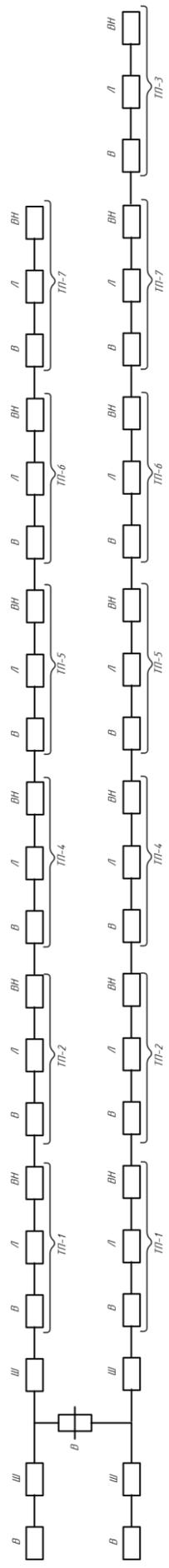


Рисунок 12 – Схема замещения сети 10 кВ Для нахождения параметров потока отказов первой и второй цепей, учитывая их преднамеренные отключения и принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$Q_{cI} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot t_{Bi} \cdot n_{пр. нб.}, \quad (118)$$

$$Q_{cI} = 14,7 \cdot 0,9 = 13,23 \text{ 1/год}; \quad (119)$$

$$Q_{cI} = 14,7 \cdot 0,9 = 13,23 \text{ 1/год};$$

$$Q_{cII} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot t_{Bi} \cdot n_{пр. нб.}, \quad (120)$$

$$Q_{cII} = 10,4 \cdot 0,9 = 9,36 \text{ 1/год};$$

Для нахождения вероятности отказов I и II цепей сети 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$Q_{cI} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot t_{Bi}, \quad (121)$$

$$q_I = 0,0086;$$

$$q_{II} \approx 0,0062;$$

где  $t_B$  - время восстановления элемента схемы 10 кВ.

Для нахождения среднего времени восстановления каждой цепи сети 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$t_{Bc} \approx q_c / \lambda_c, \quad (122)$$

$$t_{BI} \approx \frac{q^I}{\lambda^I}; \quad (123) \quad t_{BI}^* \approx$$

$$\lambda^I \approx \lambda_{npB11}$$

$$\lambda^I$$

$$t_{BI} \approx \frac{0,0086}{15,58 - 0,9 \cdot 8760} \approx 5,12 \text{ ч};$$

$$t_{BII} \approx \frac{q^{II}}{\lambda^{II*}} \approx \frac{q^{II}}{\lambda^{II} \cdot \lambda_{npBII}}; \quad (124)$$

$$t_{BII} \approx \frac{0,0062}{11,258 - 0,9 \cdot 8760} \approx 5,18 \text{ ч}.$$

Для нахождения параметра потока отказов системы, состоящей из двух параллельных элементов сети 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$\prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^n \left( \lambda_{c1} + \lambda_{Bj} + \lambda_{npj} \right) t; \tag{125}$$

$$\prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^n \left( \lambda_{c1} + \lambda_{B2} + \lambda_{I^*} + \lambda_{npI} + \lambda_{npII} + \lambda_{I} + \lambda_{II} + \lambda_{BI} + \lambda_{II} + \lambda_{npI} + \lambda_{npI^*} \right) t; \tag{126} *$$

$$\lambda_{npI}$$

$$\lambda_c = 0.233 \text{ 1/год};$$

Для нахождения средней вероятности состояния отказа системы электроснабжения 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$q_c = q_{II} \prod_{i=1}^n K_{npi} \prod_{j=1}^n q_{II} \prod_{k=1}^n K_{npII} \prod_{l=1}^n q_I; \tag{127}$$

$$q_c = 0,0086 \cdot 0,0062 \cdot 0,992 \cdot 0,95 \cdot 12 \cdot 0,0062 \cdot 0,99 \cdot 0,95 \cdot 18 \cdot 0,0086 \cdot 0,012;$$

где  $K_{npi}$  - коэффициент, учитывающий фактор уменьшения вероятности преднамеренного отключения одного элемента и аварийного отключения другого, в который также включены ошибочные либо неверные действия со стороны людей входящих в ОВБ.

Для нахождения коэффициент преднамеренного отключения каждой цепи сети 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$K_{np} = 1 e^{-\frac{t_{npI}}{t_{Bэкв}}}; \quad (128)$$

$$K_{npI} = 1 e^{-\frac{t_{npI}}{t_{BII}}};$$

$$K_{npI} = 1 e^{-20/5,12} = 0,992;$$

$$K_{npII} = 1 e^{-\frac{t_{npII}}{t_{BII}}};$$

$$K_{npII} = 1 e^{-20/5,180} = 0,99;$$

Для нахождения среднего времени безотказной работы системы электроснабжения 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$T_c = \frac{1}{\lambda_c}; \quad (129)$$

$$T_c = \frac{1}{0,012} = 83,3 \text{ лет}.$$

Для нахождения расчетного времени безотказной работы системы электроснабжения 10 кВ при  $\alpha=0,1$  принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$T_p = \ln 1 + T_c; \quad (130)$$

$$T_p = \ln 1 + 0,1 \cdot 83,3 = 8,78 \text{ лет.}$$

Для нахождения среднего времени восстановления системы электроснабжения 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$t_{BC} = \frac{q^c}{\dots}; \quad (131)$$

$$t_{BC} = \frac{0,0012}{60 \cdot 0,3} = 0,233$$

Для нахождения недоотпущенной электроэнергии принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$W_{нед} = P_{деф.р.} \cdot q \cdot T_c; \quad (132)$$

$$W_{нед} = 9,15 \cdot 0,0012 \cdot 8760 = 96200,9 \text{ кВт ч.}$$

Для нахождения ущерба от недоотпуска электроэнергии системы электроснабжения 10 кВ принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$U_{\text{осн}} = W_{\text{осн}} \cdot \rho_{\text{осн}} \cdot t_{\text{нед}}, \quad (133)$$

$$U_{\text{осн}} = 0.003 \cdot 96200,9 \cdot 288,6 \text{ у.е.} = 23088 \text{ тыс. руб.}$$

$$U_{\text{ВН}} = U_{\text{ОВН}} \cdot P_{\text{треб}}, \quad (134)$$

$$U_{\text{ВН}} = 5 \cdot 9,15 = 45,8 \text{ у.е.} = 3660 \text{ тыс. руб.},$$

$$U_{\text{ВН}} = U_{\text{осн}} + U_{\text{ВН}}, \quad (135)$$

$$U = 23088 + 3660 = 26748 \text{ тыс. руб.}$$

Результаты вычислений показывают, что схема РП Амурпром и распределительной сети 10 кВ комплекса обладает достаточно высокой надежностью. 17 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

### 17.1 Безопасность

Сооружение распределительного пункта (РП) для потребителя электроэнергии комплекса ООО «Амурпром» должно выполняться с соблюдением мер безопасности обслуживающего персонала. В данном разделе выпускной квалификационной работы указываются требования к организации защитного заземления РП Амурпром. Приводятся дополнительные меры безопасности, препятствующие попаданию персонала РП Амурпром под

напряжение, и позволяющие организовать безопасную работу при эксплуатации РП Амурпром и распределительной сети с центром питания РП Амурпром, [20].

Персоналом РП Амурпром устраивается заземление корпусов оборудования 10 кВ для защиты от поражения электрическим током. Корпуса трансформаторов собственных нужд РП и корпуса ячеек комплектного распределительного устройства 10 кВ подключается к общему контуру заземления.

Персоналом РП Амурпром проводится периодический контроль изоляции оборудования 10 кВ для защиты от пробоев изоляции.

Персонал РП Амурпром защищается от опасного приближения к неизолированным частям электрического оборудования или прикосновения к ним посредством использования ограждений, исключающих или затрудняющих контакт персонала с токоведущими частям оборудования

Защита персонала РП Амурпром от прикосновения к неизолированным частям электрического оборудования выполняется устройствами блокировки, препятствующими ошибочным операциям персонала.

Персонал РП Амурпром защищается от опасного приближения к неизолированным частям электрического оборудования или прикосновения к ним посредством выноса опасных участков оборудования на расстояние вне зоны досягаемости персонала.

Здание РП Амурпром ограждается решетчатым забором высотой 1,7 м, что затрудняет доступ посторонних лиц на территорию РП.

При проведении монтажных работ в здании РП Амурпром персонал использует переносной электроинструмент с рукоятками из изолирующего материала.

Здание РП Амурпром оснащено комплектами средств индивидуальной защиты от поражения электрическим током.

Организационные меры защиты персонала РП Амурпром от поражения электрическим током реализуются посредством строгим соблюдением порядка

оформления работ, допускам к работам, надзором и контролем за проводимыми работами в РП Амурпром.

Персонал РП Амурпром выполняет работы в РП в соответствии с оформленным перечнем работ, которые необходимо выполнять в порядке текущей эксплуатации и перечнем работ, которые выполняются по устным распоряжениям и наряд-допускам.

Персонал РП Амурпром осуществляет подготовку рабочих мест для предотвращения опасности поражения электрическим током.

Персонал РП Амурпром приступает к выполнению работ в действующих электроустановках после допуска бригад к работе с соответствующим оформлением.

За персоналом РП Амурпром, выполняющим работ в действующих электроустановках осуществляется надзор старшими бригады.

Оперативный персонал РП Амурпром осуществляет прием ремонтных работ по окончании объёма работ, после допуска к работе ремонтных бригад.

В электроустановках РП Амурпром используется твердая основная изоляция, предотвращающая контакт персонала РП Амурпром с опасными токоведущими частями. Использование полимерных и фарфоровых изоляторов является защитной мерой для защиты персонала от поражения электрическим током. На опорах ВЛ 10 кВ также установлены опорные фарфоровые изоляторы являющиеся основной изоляцией.

В электроустановках РП Амурпром используются ограждения и оболочки, которые исключают доступ к опасным токоведущим частям РП Амурпром за счет выбора степени защиты от поражения электрическим током не менее IPXXB (или IP2X). Ограждения и оболочки РП Амурпром характеризуются достаточной механической прочностью, стабильностью и долговечностью, что обеспечивает установленную степень защиты от различных ударных и электрических воздействий с внешней стороны и изнутри оболочки.

В электроустановках РП Амурпром ограждения и оболочки прочно фиксируются на месте установки. Корпуса трансформаторов собственных нужд

РП, шкафы КРУ-10 кВ устанавливаются заводским методом на силовое оборудование при монтаже.

В электроустановках РП Амурпром используются барьеры для трансформаторного отсека трансформаторов собственных нужд, предотвращающие случайное проникновение персонала РП Амурпром в трансформаторный отсек и прикосновение к токоведущим шинам. Барьеры для трансформаторного отсека трансформаторов собственных нужд РП Амурпром изготовлен из диэлектрического материала ПВХ пластика, к которому монтируется предупредительный знак, рисунок 13.

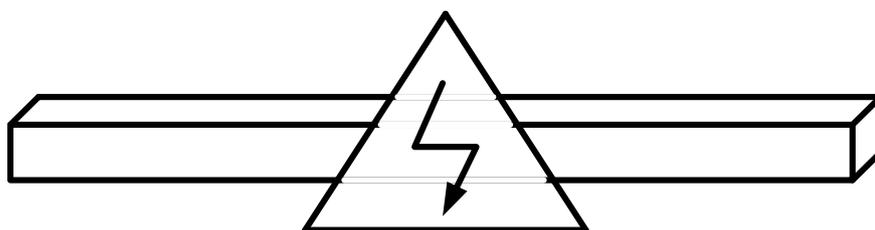


Рисунок 13 – Барьер в трансформаторном отсеке РП Амурпром

В электроустановках РП Амурпром исключен неумышленный одновременный доступ к проводящим частям персонала засчёт удаления токоведущих частей из зоны досягаемости персонала. Воздушные ввода линий 10 кВ в здание РП Амурпром находятся на расстоянии не менее 2,7 м от уровня землю, засчёт того, что здание РП Амурпром установлено на фундамент, [20].

Опасные перенапряжения природного или технического характера для безопасности персонала РП Амурпром предотвращаются ограничителями перенапряжения, установленными на каждой секции шин РП Амурпром.

Для безопасности персонала РП Амурпром в порядке текущей эксплуатации выполняется контроль изоляции в качестве защитной меры от поражения электрическим током.

Во время приемо-сдаточных испытаний изоляции силовых трансформаторов 10/0,4 кВ РП Амурпром и в порядке текущей эксплуатации персоналом проводится замер сопротивления изоляции, коэффициента абсорбции, тангенса угла диэлектрических потерь, [20].

Для оценки результатов измерения сопротивления изоляции и тангенса угла диэлектрических потерь силовых трансформаторов 10/0,4 кВ РП Амурпром определяются замеры показателей изоляции после монтажа оборудования при конкретной температуре и до монтажа по заводским параметрам.

### **17.2 Экологичность**

В данном пункте раздела прорабатывается возможность предотвращения ущерба окружающей среде при эксплуатации сетей 10 кВ комплекса Амурпром. Среди прочего, определенный вред окружающей среде может нанести масло, находящееся в силовых маслонаполненных трансформаторах 10/0,4 кВ комплекса Амурпром.

В системе электроснабжения комплекса Амурпром использованы закрытые комплектные ТП. Наибольшая мощность трансформаторов комплекса Амурпром в результате выбора их параметров получена для КТП-6, на которой по расчётам установлены 2 трансформатора марки ТМ-2500/10. Для трансформаторов ТМ-2500/10 масса трансформаторного масла составляет 1450 кг, габаритные размеры которого указаны на рисунке 14 [21].

Трансформаторы КТП-6 оборудованы незаглубленными маслоприемниками, которые препятствуют растеканию масла при повреждениях трансформаторов, при этом дальнейшие расчёты выполняются с учётом оборудования маслоприемника, рассчитанного на полный объем масла [22].

Принимается ширина выступа 0,2 м размеров маслоприёмника за габариты трансформатора, так как площадь маслоприемника должна быть более площади основания трансформатора [22].

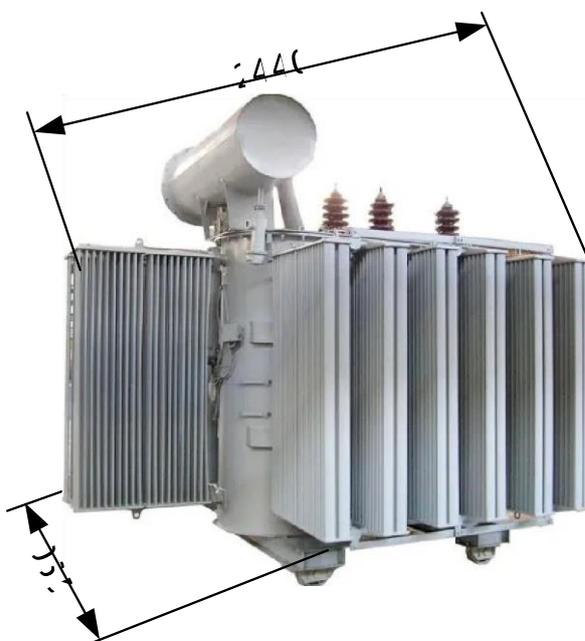


Рисунок 14 – Габаритные размеры трансформатора ТМ-2500/10

Для нахождения площади маслоприёмника КТП-6 2x2500 кВА принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$S_{МП} = (A + 2 \square) (B + 2 \square), \quad (136)$$

$$S_{МП} = (2,44 + 2 \cdot 0,2) (1,29 + 2 \cdot 0,2) = 4,8 \text{ м}^2;$$

где  $A$ - длина трансформатора, 2,44 м [21];

$B$ - ширина трансформатора, 1,29 м [21];

$\square$ - ширина выступа за габариты маслоприемника по [22], 0,2 м.

Для нахождения объёма трансформаторного масла КТП-6 2x2500 кВА принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$V_{TM} = \frac{M}{\rho}; \quad (137)$$

$\rho_{TM}$ 

$$V_{TM} = \frac{1450}{880} = 1,65 \text{ м}^3;$$

где  $M$  - масса масла, 1450 кг [23];

$\rho_{TM}$  - плотность масла, 880 кг/м<sup>3</sup>.

Для нахождения высоты маслоприёмника для приёма 100 % трансформаторного масла КТП-6 2х2500 кВА принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$h_{TM} = \frac{V_{TM}}{S_{МП}}; \tag{138}$$

$$h_{TM} = \frac{1,65}{4,8} = 0,344 \text{ м}.$$

Для нахождения высоты маслоприёмника КТП-6 2х2500 кВА принимая во внимание размерность величин, прорабатывается решение по указанному выражению:

$$h_{МП} = h_{TM} + h_2 + h_{en} + h_p; \tag{139}$$

$$h_{МП} = 0,344 + 0,25 + 0,05 + 0,075 = 0,72 \text{ м};$$

где  $h_2$  - толщина слоя гравия на решетке, 0,25 м [22];

$h_p$  - расстояние от поверхности масла до решетки, закрывающей маслоприёмник, 0,05 м [22];

$h_{en}$  - расстояние над насыпью гравия маслоприёмника до воздушного канала под трансформатором, 0,075 м [22];

Маслоприёмник КТП-6 2x2500 кВА сооружается без отвода масла заглубленной конструкции и закрываются металлической решеткой, поверх которой насыпается слой чистого гравия толщиной 0,25 м.

Уровень полного объема масла в маслоприёмнике должен быть ниже решетки более чем на 0,05 м.

Эскиз маслоприёмника КТП-6 представлен на рисунке 15.

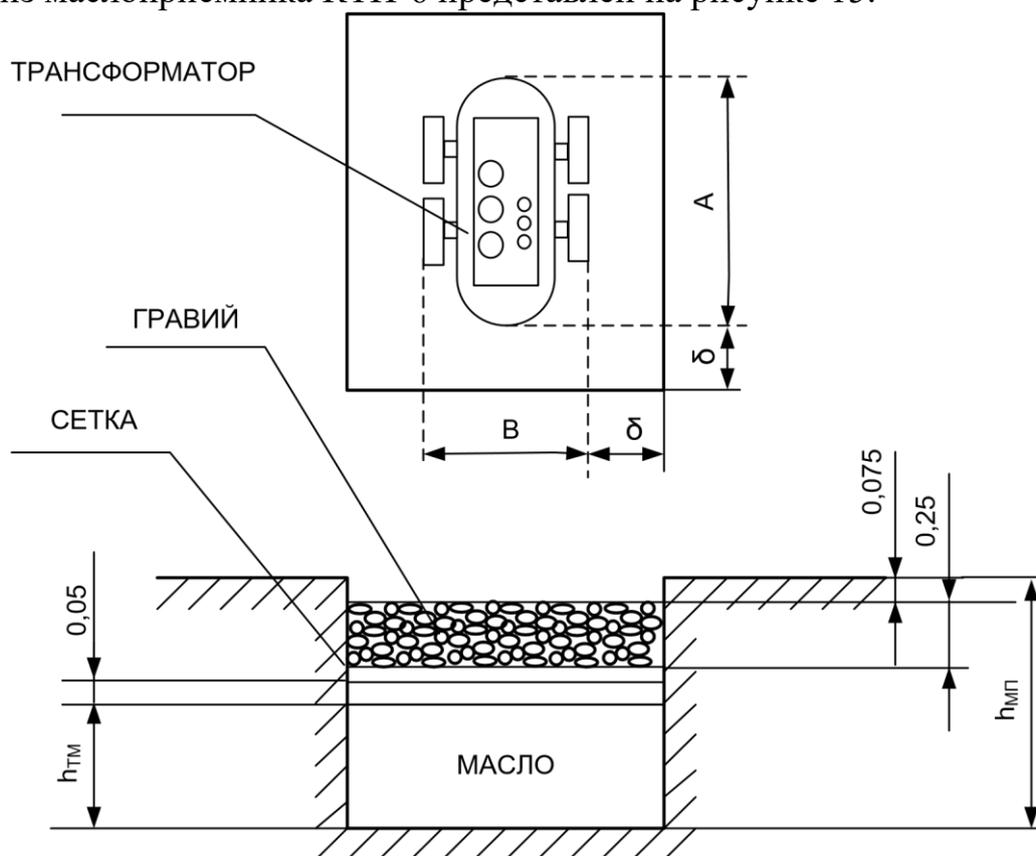


Рисунок 15 - Эскиз маслоприёмника КТП-6 2x2500 кВА

В результате получены габариты маслоприёмника для обеспечения сбора трансформаторного масла в случае его вытекания из трансформатора ТМ2500/10: высота 0,72 м, длина 2,84 м, ширина 1,69 м. При таких габаритных размерах маслоприёмника соблюдаются требования к закрытым распределительным устройствам КТП [22].

### 17.3 Чрезвычайные ситуации

Подключение сооружаемого РП Амурпром к действующей ПС Ленинское осуществляется двумя одноцепными воздушными линиями 10 кВ протяженностью 2,3 км, трасса прохождения ВЛ-10 кВ располагается по территории муниципальных земель, имеющих густую растительность в виде деревьев и кустарников. В пожароопасные периоды возникновение пожаров является чрезвычайной ситуацией, препятствующей надёжному электроснабжению РП Амурпром.

Для того, чтобы вовремя предотвращать распространение палов вблизи ВЛ-10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром и РП Амурпром необходимо обеспечить соблюдение обслуживающим персоналом РП Амурпром противопожарных мер, [24].

Для обеспечения требуемого уровня пожарной безопасности просеки ВЛ10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром должны содержаться в пожаробезопасном состоянии, при этом должны выполняться следующие мероприятия:

- периодическая расчистка трасс ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром;
- расчистка трасс ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром от сухой растительности и камыша;
- выполнение минерализованных защитных полос ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром.

Обязательно наличие перечня участков ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром, на которых необходимо проведение противопожарных мероприятий, с включением данных работ в график проведения работ.

С учетом ежемесячного анализа расследования причин аварий на ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром, произошедших вследствие природных пожаров, результатов осмотров трасс ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром и другой информации в указанный график проведения работ следует своевременно вносить изменения и дополнения.

Организация работ по планированию противопожарных мероприятий на пожароопасных участках ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром, а также контроль за выполнением данных мероприятий, возлагается на персонал структурных подразделений, ответственных за эксплуатацию и ремонт ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром.

У каждой ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром установлена охранный зона – 10 метров по обе стороны от крайних проводов.

Для успешного противопожарного контроля за состоянием ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром любая деятельность сторонних организаций в охранный зоне ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром, связанная со строительством, ремонтом, производством любых работ, посадка, вырубка деревьев и кустарников письменно согласовывается с ответственным персоналом комплекса Амурпром.

При обнаружении лесных пожаров вблизи ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром персонал комплекса должен немедленно уведомлять о них свое руководство.

Начальником комплекса Амурпром должно быть организовано взаимодействие с органами лесного хозяйства в целях тушения пожара в охранный зоне ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром, проходящих по территории лесных массивов.

Начальником комплекса Амурпром организуется и поддерживается в актуальном состоянии перечень должностей, фамилий, контактных данных должностных лиц и органов, осуществляющих оперативное реагирование на тушение пожаров.

После ликвидации низовых и верховых лесных пожаров вблизи ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром персонал комплекса осуществляет внеплановый осмотр трассы ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром и чистку просеки для тех участков, где имеется недостаточное расстояние от проводов ВЛ до насаждений, [24].

Начальником комплекса Амурпром при подготовке к пожароопасному периоду должно быть организовано комплектование противопожарным инвентарем персонала в соответствии с нормами наличия средств предупреждения и тушения пожаров. Рабочее состояние и возможность использования противопожарного инвентаря поддерживается ответственным лицом из числа персонала комплекса Амурпром.

На период строительства ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром должен быть обеспечен процесс рубки, складирования и уборки лесных насаждений и срубов деревьев.

Очистка мест рубок лесосек ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром выполняется с устройством мест вала рубленой древесины на расстоянии не менее 10 метров от прилегающих лесных насаждений. Сжигание порубочных остатков в охранных зонах ВЛ запрещается.

Прокладка и эксплуатация ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром над навесами, открытыми складами горючих веществ, материалов и изделий, кровля которых выполнена из горючих материалов, запрещена.

Работы на ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром при помощи оборудования и установок с неисправностями, потенциально способствующими возникновению пожара запрещены. В границах просеки ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром территория подлежит уборке от сгораемых отходов. Не допускается хранение пожаровзрывоопасных и пожароопасных веществ вблизи трассы ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром.

По завершении работ на ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром оставшиеся сгораемые отходы и обтирочные материалы подлежат удалению для утилизации. Неиспользованные легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, а также краски, лаки и растворители следует хранить в специальных металлических ящиках на территории комплекса Амурпром, [24].

В местах выполнения работ на ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром необходимо иметь противопожарное оборудование и первичные средства

пожаротушения, включая шанцевый инструмент, в количестве достаточном для проведения первоочередных мероприятий по тушению пожаров.

При возникновении пожара на ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром, действия работников в первую очередь должны быть направлены на обеспечение безопасности и эвакуации людей из опасной зоны.

К тушению пожара на ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром персонал комплекса приступает только в случае отсутствия явной угрозы жизни и наличию возможности покинуть опасное место в любой момент тушения пожара.

При тушении пожара на ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром персонал комплекса должен организовать встречу подразделений пожарной охраны, оказать помощь в выборе пути для подъезда к очагу пожара.

При падении провода ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром на машину и ее загорания, обслуживающий персонал комплекса Амурпром должен немедленно покинуть машину. При этом одновременное прикосновение к корпусу машины и земли не допустимо

При тушении пожара на ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром с использованием средств пожаротушения учитываются размеры очага пожара, динамика развития пожара, наличие возможности безопасного использования первичных средств пожаротушения, [24].

При тушении пожара на ВЛ 10 кВ ПС Ленинская – РП Амурпром с использованием огнетушителей учитывается их огнетушащая способность и класс пожара.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной выпускной квалификационной работе спроектирована и рассчитана система электроснабжения лесоперерабатывающего комплекса ООО «Амурпром». В работе произведены расчеты электрических нагрузок для выбора трансформаторов КТП, расчеты электрических нагрузок для выбора оборудования РП. Выбор числа и мощности трансформаторов КТП осуществлялся с учетом компенсации реактивной мощности. Основными критериями при проектировании являются техническая применимость и экономичность работы.

Оценка выбора оптимального варианта электроснабжения комплекса осуществлялась по приведенным годовым затратам на проектируемую сеть после выбора сечений проводников сети, коммутационной аппаратуры. По току КЗ проверены сечения проводников сети и защитной коммутационной аппаратуры для принятого варианта электроснабжения. Выбраны уставки средств РЗА.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перспективный план развития ТОР «Амурухинганская» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://erdc.ru/upload/%D0%9F%D0%9F%D0%A0\\_%D0%A2%D0%9E%D0%A0%20%D0%90%D0%BC%D1%83%D1%80%D0%BE-%D0%A5%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9.pdf#page=114&zoom=100,116,196](https://erdc.ru/upload/%D0%9F%D0%9F%D0%A0_%D0%A2%D0%9E%D0%A0%20%D0%90%D0%BC%D1%83%D1%80%D0%BE-%D0%A5%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9.pdf#page=114&zoom=100,116,196) (дата обращения: 10.03.2023).

2. Паспорт Еврейской автономной области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eao.ru/?p=73> (дата обращения: 10.06.2023).
3. Схема и программа развития электроэнергетики Еврейской автономной области 2021-2025 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.eao.ru/upload/medialibrary/b0b/%D0%A1%D0%B8%D0%9F%D0%A0%20%D0%95%D0%90%D0%9E%202021-2025\\_28.04.2021.pdf](https://www.eao.ru/upload/medialibrary/b0b/%D0%A1%D0%B8%D0%9F%D0%A0%20%D0%95%D0%90%D0%9E%202021-2025_28.04.2021.pdf) (дата обращения: 10.02.2023).
4. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Межгосударственный стандарт. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems
5. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / Российское акционерное общество энергетики и электрификации «ЕЭС России». – М.: Издательство «ЭНАС», 2001. – 154 с.
6. СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций
7. Приложение 1 к постановлению Департамент тарифов и цен правительства Еврейской автономной области от 26.12.2022 №52/42 Тарифы для организаций, оказывающих услуги по передаче электрической энергии, приобретающих ее в целях компенсации потерь в сетях, принадлежащих данным организациям на праве собственности или ином законном основании
8. Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2014 - ., Ч. 1. - 2014. - 106 с. Режим доступа [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7123.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7123.pdf) (дата обращения: 10.04.2023).
9. Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : сб.-учеб. метод. материалов для направления подготовки 13.03.02

"Электроэнергетика и электротехника" / АмГУ, Эн.ф. ; сост.: Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 182

с. Режим доступа [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/9662.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/9662.pdf) (дата обращения: 10.04.2023).

10. Мясоедов, Ю. В. Электроснабжение городов [Электронный ресурс] : метод. указания к курс. проектированию для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника" / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Ю. В. Мясоедов. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2013. - 100 с. Режим доступа [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7475.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7475.pdf) (дата обращения: 10.04.2023).

11. 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. - 3-е изд., испр. и доп. - СПб. : Лань, 2014. - 192 с. : рис., табл. - (Учебники для вузов. Спец. лит.). - Библиогр. : с. 154 .

12. Мясоедов, Ю. В. Системы электроснабжения промышленных объектов и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие. Ч. 2. Электроснабжение жилых домов с улучшенной планировкой и коттеджей / Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 162 с. Режим доступа [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7366.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7366.pdf) (дата обращения: 10.04.2023).

13. 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.

14. Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей : справочник / Д.Л. Файбисович, И.Г. Карапетян. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.

15. Савина Н. В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс дисц. для спец. 140211.65 / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Н. В. Савина . - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2012. - 124 с. – Режим доступа: [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/6056.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/6056.pdf) (дата обращения: 10.05.2023).

16. Савина Н. В. Техника высоких напряжений. Грозовые перенапряжения и защита от них [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н. В. Савина ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 191 с. - Режим доступа: [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7361.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7361.pdf) (дата обращения: 10.05.2023).

17. Бочаров Ю. Н. Техника высоких напряжений [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. Н. Бочаров, С. М. Дудкин, В. В. Титков. - СПб. : С.-Петерб. политех. ун-т Петра Великого, 2013. - 265 с. - Б. ц. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43976> (дата обращения: 24.05.2023).

18. Козлов А. Н. Диагностика электрооборудования высокого напряжения [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Н. Козлов ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2013. - 44 с. - Режим доступа: [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/6925.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/6925.pdf) (дата обращения: 24.05.2023).

19. Ротачева А. Г. Проектирование устройств релейной защиты [Электронный ресурс] : метод. указ. для самостоят. работы студентов: учеб. пособие / А. Г. Ротачева ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2014. - 28 с. - Режим доступа: [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7050.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7050.pdf) (дата обращения: 24.05.2023).

20. Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 N 61957)

21. Трансформаторы 10 кВ, технические характеристики [Электронный ресурс]. – URL: <https://electro.mashinform.ru/komplektnye-transformatornyepodstancii-klass-napryazheniya-do-6-kv-vklyuchitelno.html>

(дата обращения:

24.05.2023)

22. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 8-е изд. – М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 2012. – 488 с.

23. ГОСТ 982-80. Масла трансформаторные

24. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий : Руководящий документ РД-153.-34.0-03.301-00. – М. : ЗАО Энергетические технологии, 2000. – 116 с.

25. Ротачева А. Г. Современные средства релейной защиты и автоматики [Электронный ресурс] : метод. указания по курсовому проектированию для направления 13.03.02 / А. Г. Ротачева, А. Н. Козлов, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 93 с. - Режим доступа:

[http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/4322.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/4322.pdf) (дата

обращения:

24.05.2023).

26. Козлов А. Н. Релейная защита и автоматика электрических систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника" / сост. А. Н. Козлов, В. А. Козлов, Ю. В. Мясоедов ; АмГУ, Эн. ф. - 4-е изд., испр. . - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та,

2017. - 160 с. - Режим доступа:

[http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/9689.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/9689.pdf) (дата обращения:

24.05.2023).

27. Киреева Э. А. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчетов) [Текст] / Э. А. Киреева, С. Н.

Шерстнев. - 2е изд., стер. - Москва : КНОРУС, 2013. - 864 с. : табл. - Библиогр.: с. 860-862.

28. Козлов А. Н. Микропроцессорные средства управления [Электронный ресурс] : учеб. пособие для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника". Ч. 1 . Построение основных функций цифровых релейных защит / АмГУ, Эн.ф. ; сост. А. Н. Козлов. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. унта, 2017. - 54 с. - Режим доступа: [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7739.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7739.pdf) (дата обращения: 24.05.2023).

29. Киреева Э. А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Текст] : учеб. / Э. А. Киреева, С. А. Цырук. - 4-е изд., стер. - М. : Академия, 2014. - 288 с. : рис. - (Профессиональное образование. Энергетика). - Библиогр. : с. 282.

30. Алиев И. И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию [Текст] : учеб. пособие для вузов / Алиев И.И. - 2-е изд., доп. - М. : Высш. шк., 2015. - 256 с. -