

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения насосной станции электролампового завода в г.Уфе

Обучающийся

А.В. Яковлев

(И. О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Доктор технических наук П.А. Николаев

(ученая степень, звание, И. О. Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Пояснительная записка содержит 46 страниц, 14 таблиц, 7 рисунков, 20 источников.

Ключевые слова: насос, электроснабжение, оборудование, релейная защита, заземление.

Цель работы заключается в разработке проекта системы электроснабжения насосной станции электролампового завода в г. Уфе.

Объект исследования бакалаврской работы – насосная станция электролампового завода в г. Уфе.

Предмет исследования бакалаврской работы – система электроснабжения насосной станции электролампового завода в г. Уфе.

Выпускная квалификационная работа состоит из четырех разделов.

При написании работы выполнены следующие задачи:

- разработан план здания насосной станции;
- рассчитаны силовые нагрузки, нагрузки освещения и компенсация реактивной мощности;
- подобраны силовые трансформаторы;
- расчет распределительной сети;
- расчет релейной защиты и заземления.

Содержание

Введение	4
1 Анализ схем главных электрических соединений тяговой подстанции	7
1.1 Исходные данные к проектированию	7
1.2 Разработка планировки насосной станции.....	8
2 Расчет системы электроснабжения	9
2.1 Расчет системы освещения	9
2.2 Расчет силовой и общей нагрузок насосной станции.....	13
2.3 Расчет силовых трансформаторов	19
2.4 Выбор питающих линий	21
2.5 Расчет токов короткого замыкания	24
2.6 Выбор оборудования ТП 10/0,4 кВ.....	29
2.7 Выбор оборудования внутрицеховой сети.....	32
3 Расчет заземления	34
4 Релейная защита и автоматика	38
4.1 Выбор устройства АВР	38
4.2 Расчет релейной защиты	39
Заключение	43
Список используемых источников.....	45

Введение

Проектирование энергосистемы является важнейшим аспектом любого проекта по развитию инфраструктуры. Оно включает в себя планирование, разработку и внедрение системы, которая может эффективно генерировать, передавать и распределять электроэнергию для удовлетворения потребностей потребителей. В процессе проектирования учитываются различные факторы, такие как требования к нагрузке, уровни напряжения, правила техники безопасности и экологические соображения.

Проектирование энергосистемы – это сложный процесс, требующий тщательного учета различных факторов, таких как требования к нагрузке, источники генерации, передающие и распределительные сети, правила техники безопасности и надежность. Используя передовой опыт и передовые технологии, хорошо спроектированная энергетическая система может обеспечить эффективное и надежное электроснабжение для устойчивого удовлетворения потребностей потребителей.

Электроснабжение насосных станций является важнейшим аспектом обеспечения бесперебойной и эффективной работы этих критически важных объектов. Насосные станции отвечают за подачу воды или других жидкостей в различные районы, такие как жилые, коммерческие или промышленные зоны. Они играют жизненно важную роль в поддержании общей системы водоснабжения и обеспечении бесперебойного притока воды для удовлетворения потребностей населения.

Насосные станции играют жизненно важную роль в различных отраслях промышленности, таких как водоснабжение, нефтегазовая промышленность и управление водоотведением. Они отвечают за перекачку и распределение жидкостей, для эффективной работы которых требуется постоянный источник питания. Любое нарушение электроснабжения может привести к серьезным последствиям, включая перебои в обслуживании, повреждение оборудования и потенциальную угрозу безопасности.

Для обеспечения бесперебойного электроснабжения насосных станций принимаются различные меры. Одним из наиболее эффективных решений является наличие системы резервного источника питания. Это могут быть генераторы или аккумуляторные батареи, которые могут обеспечивать подачу электроэнергии во время перебоев в работе или колебаний в работе основного источника питания. Благодаря резервной системе электроснабжения насосные станции могут продолжать работать без перебоев, сводя к минимуму воздействие на предоставление услуг и предотвращая любое потенциальное повреждение оборудования.

Регулярное техническое обслуживание и проверки инфраструктуры электроснабжения также необходимы для надежной работы. Это включает в себя регулярные проверки электрических соединений, силовых кабелей и систем управления. Выявляя и устраняя любые потенциальные проблемы на ранней стадии, можно предотвратить непредвиденные сбои и обеспечить стабильную и надежную подачу электроэнергии. Кроме того, регулярное техническое обслуживание может помочь выявить области, в которых можно внести улучшения для повышения общей эффективности системы электроснабжения.

Инвестиции в современное и эффективное энергетическое оборудование – еще один способ повысить надежность электроснабжения насосных станций. Переход на более совершенные технологии, такие как частотно-регулируемые приводы (ЧРП), может помочь оптимизировать потребление энергии и снизить нагрузку на систему электроснабжения. ЧРП могут регулировать частоту вращения двигателей в зависимости от потребности, что приводит к значительной экономии энергии и снижает риск перебоев в подаче электроэнергии.

В заключение отметим, что надежное электроснабжение имеет решающее значение для эффективной работы насосных станций. Применяя такие меры, как системы резервного питания, регулярное техническое обслуживание, современное оборудование, удаленный мониторинг,

операторы насосных станций могут обеспечить свои объекты стабильным и бесперебойным источником питания.

«Основным аспектом разработки новых технических объектов является креативное мышление, которое базируется на принципах диалектики, логики и теории познания, а также на научных и технических достижениях» [13].

Можно выделить несколько аспектов творческого проектирования:

- по мере достижения цели возникают новые решения;
- решения, которые ранее показали свою эффективность, могут потерять актуальность в связи с изменением ситуации;
- решения, которые ранее показали свою эффективность в определенных условиях, могут быть менее эффективными в случае изменения этих условий;
- решение сложной задачи проходит путь от общих положений к частным.

Цель работы заключается в разработке проекта системы электроснабжения насосной станции электролампового завода в г. Уфе.

Таким образом, необходимо решить ряд задач, связанных с разработкой планировки насосной станции, расчетом нагрузок, выбором трансформаторов и другого оборудования трансформаторной подстанции, а также оборудования распределительной сети. Кроме этого, будет выполнен расчет релейной защиты и защитного заземления.

Выпускная квалификационная работы разделена на четыре раздела.

1 Анализ схем главных электрических соединений тяговой подстанции

1.1 Исходные данные к проектированию

Объектом исследования бакалаврской работы является насосная станция, выполняющая забор воды из реки Белая.

Предметом изучения является система электроснабжения насосной станции.

Забор воды из реки Белая будет выполнен посредством двух приводов насосов.

Технологическим оборудованием насосной станции служат два электродвигателя АО101-6М по 100 кВт каждый $U=380$ В.

Технические характеристики электродвигателей АО101-6М приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики электродвигателей АО101-6М

Параметр	Единица измерения	Значение
Мощность	кВт	100
Номинальное напряжение	кВ	0,38
Номинальная частота	Гц	50
КПД	%	92
Количество оборотов	об./мин.	1000
Коэффициент мощности	отн. ед.	0,89
Масса	кг.	1270

По категории электроснабжения насосная станция относится ко второй. Подвод электроэнергии будет производиться по двум независимым ЛЭП 10 кВ. Причем, в аварийной ситуации резервный источник будет включен посредством АВР.

Кроме технологического оборудования, потребителем электроэнергии насосной станции будет система освещения.

1.2 Разработка планировки насосной станции

Планировка насосной станции принята в соответствии с типовым проектом 901-2-85 «Водопроводная насосная станция производительностью от 25 до 200 куб. м. в час».

Планировка насосной станции приведена на рисунке 1.

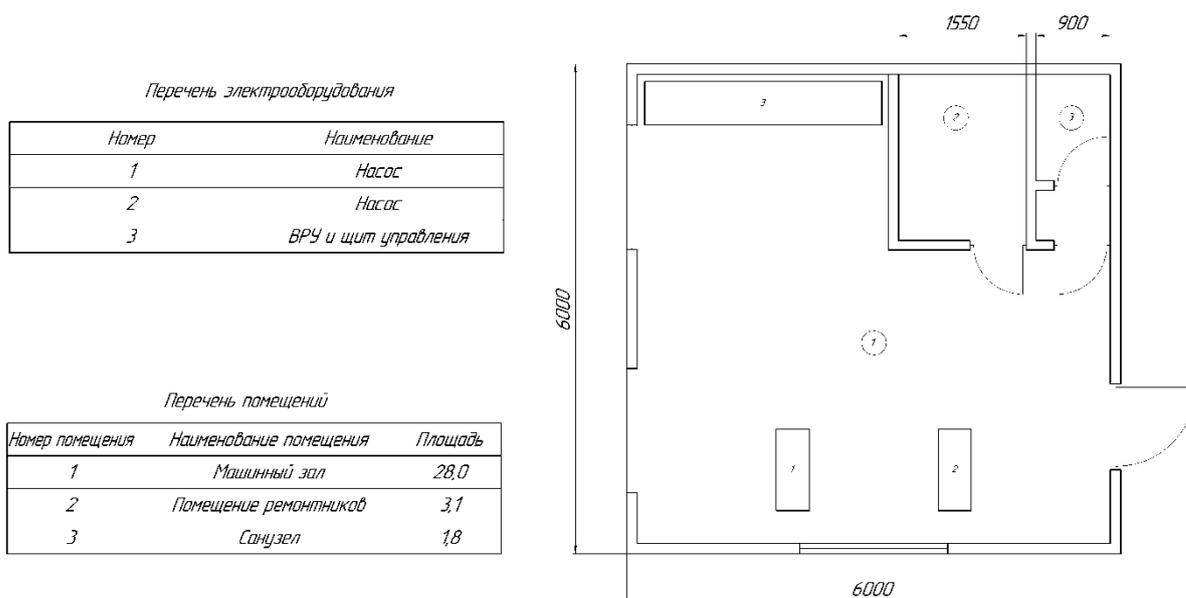


Рисунок 1 – Планировка насосной станции

Как видно на рисунке 1, насосная станция представляет собой здание размерами 6х6 метров. Высота помещений составляет 4 метра.

Выводы по разделу 1.

Насосная станция представляет собой состоит из трех помещений: производственного – машинный зал, а также двух бытовых – помещение ремонтников и санузел.

В машинном зале расположено два насоса с двигателями АО101-6М, а также панель ВРУ и щит управления электрооборудованием.

В дальнейшем будет выполнен расчет нагрузок насосной станции.

2 Расчет системы электроснабжения

2.1 Расчет системы освещения

В указанном пункте будет произведен выбор источников освещения и расчет количества осветителей.

Расчет системы освещения насосных станций является важнейшим фактором обеспечения безопасности, эффективности и функциональности этих критически важных инфраструктур.

Насосные станции отвечают за перекачку воды, сточных вод и других жидкостей по сети труб и часто работают круглосуточно. Таким образом, очень важно иметь хорошо спроектированную и правильно функционирующую систему освещения для поддержки работы персонала и обеспечения бесперебойной работы оборудования.

Первым шагом при расчете системы освещения насосной станции является оценка конкретных требований объекта. Этот этап включает в себя определение размера и планировки помещений насосной станции, типов задач, которые будут выполняться в этом помещении, а также количества персонала, который будет там работать. Также важно учитывать любые потенциальные опасности или проблемы безопасности, такие как присутствие химикатов или легковоспламеняющихся материалов, и соответствующим образом проектировать систему освещения.

После того, как требования установлены, следующим шагом будет выбор подходящих осветительных приборов. Выбор того или иного типа источника освещения будет зависеть от таких факторов, как желаемый уровень освещенности, цветовая температура света и энергоэффективность. Например, светодиодные светильники часто предпочитают из-за их длительного срока службы, низкого энергопотребления и способности излучать яркий белый свет.

Следующим шагом будет определение количества и размещения осветительных приборов, необходимых для достижения желаемой освещенности.

Исходные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные для подсчетов системы освещения

Помещение	Ширина помещения, м	Длина помещения, м	Нормативная освещенность, лк.
Машинный зал	2	3,55	300
	4	6	300
Помещение ремонтников	2	1,55	50
Санузел	2	0,9	50

Из-за сложной формы помещение машинного зала разделено на два участка.

Сначала определяется расчетная высота подвеса светильников [17]:

$$h_p = h - (h_c + h_{pn}), \quad (1)$$

где $h = 4$ м. – проектная высота помещения;

$h_c = 0,8$ – расчетное расстояние до перекрытия;

$h_{pn} = 1,0$ – принятая высота рабочей поверхности над полом.

$$h_p = 4 - (0,8 + 1,0) = 2,2 \text{ м.}$$

Далее будет произведен пример расчета для помещения ремонтников.

«Для определения коэффициента использования необходимо знать индекс помещения» [17]:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)}, \quad (2)$$

где B – ширина помещения;

A – длина помещения.

$$i = \frac{1,55 \cdot 2}{2,2 \cdot (1,55 + 2)} = 0,4.$$

Принимаем коэффициент отражения $R_n \% = 70$, $R_c \% = 50$, $R_p \% = 30$.

Индекс помещения и коэффициент отражения принимаем $\eta = 0,36$.

Для помещений насосной станции выбраны светильники WT4 со световым потоком 800 лм и мощностью 9 Вт, коэффициент мощности 0,98.

«Определяем необходимое количество светильников [17]:

$$n = \frac{E \cdot k_z \cdot S \cdot z}{\Phi \cdot \eta}, \quad (3)$$

где E – нормируемая освещённость, 300 Лк;

S - площадь освещения, 3,1 м²;

k – коэффициент запаса;

Z – поправочный коэффициент, 1,15;

Φ – световой поток лампы, лм;

η - коэффициент использования.

$$n = \frac{50 \cdot 1,3 \cdot 3,1 \cdot 1,15}{800 \cdot 0,6} = 1 \text{ шт.}$$

Средняя освещенность, в таком случае, составит:

$$E = \frac{\Phi \cdot \eta \cdot n}{k_z \cdot S \cdot z}; \quad (4)$$

$$E = \frac{800 \cdot 0,6 \cdot 1}{1,3 \cdot 3,1 \cdot 1,15} = 103,4 \text{ лк.}$$

«Активная мощность рабочего освещения определяется формулой» [17]:

$$P_{осв.раб.} = n \cdot P_{л}, \quad (5)$$

где $P_{л}$ – мощность одной лампы, кВт.

Тогда мощность системы освещения насосной станции составит:

$$P_{осв.раб.} = 23 \cdot 0,009 = 0,21 \text{ кВт.}$$

Реактивная мощность рабочего освещения определяется формулой:

$$Q_{осв.раб.} = P_{осв.раб.} \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad (6)$$

$$Q_{осв.раб.} = 0,21 \cdot 0,2 = 0,04 \text{ квар.}$$

Полная мощность рабочего освещения определяется формулой:

$$S_{осв.раб.} = \sqrt{P_{осв.раб.}^2 + Q_{осв.раб.}^2}; \quad (7)$$

$$S_{осв.раб.} = \sqrt{0,21^2 + 0,04^2} = 0,21 \text{ кВт.}$$

Итоги расчетов системы освещения приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Итоги расчетов рабочего освещения по помещениям

Помещение	В, м	А, м	Е, лк.	п, шт.	Р, кВт	Q, квар	S, кВА	I, А
Машинный зал	2	3,55	300	6	0,05	0,01	0,06	0,08
	4	6	300	14	0,13	0,03	0,13	0,20
Помещение ремонтников	2	1,55	50	1	0,01	0,002	0,009	0,01
Санузел	2	0,9	50	2	0,02	0,00	0,02	0,03
Итого	-	-	-	23	0,21	0,04	0,21	0,32

Размещение светильников насосной станции приведена на рисунке 2.

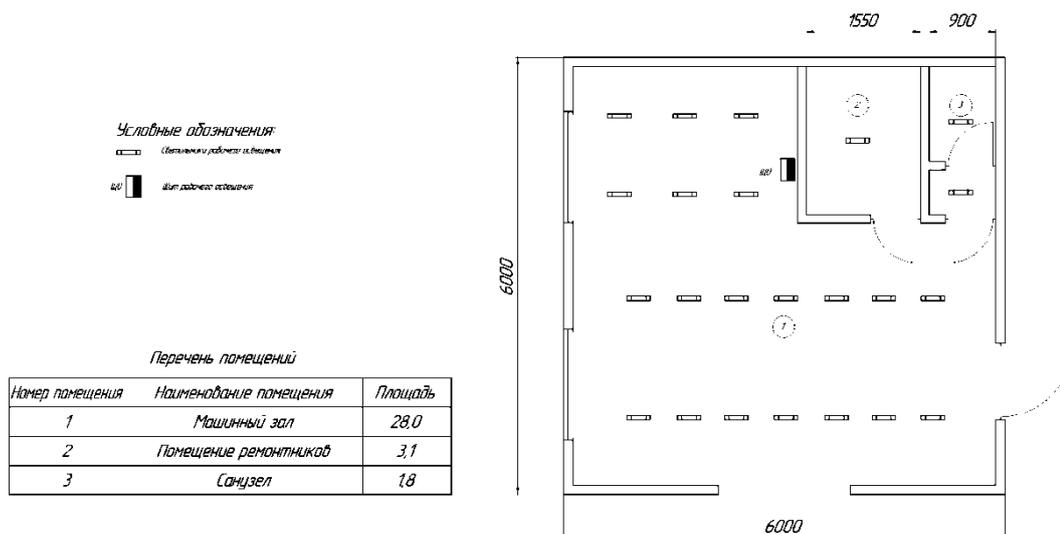


Рисунок 2 – Расстановка светильников насосной станции

Далее будет выполнен расчет силовых нагрузок насосной станции с учетом нагрузки системы освещения.

2.2 Расчет силовой и общей нагрузок насосной станции

При проектировании системы электроснабжения промышленного объекта крайне важно точно рассчитать нагрузки, которые будут оказываться на систему. Нагрузки – это количество электроэнергии, которое будет потребляться от системы для работы различного оборудования и механизированной техники на объекте. Эти нагрузки могут сильно варьироваться в зависимости от размера и характера промышленного объекта, а также от конкретного используемого оборудования.

Для расчета нагрузок необходимо учитывать несколько факторов. Во-первых, необходимо определить требования к мощности каждого отдельного элемента оборудования. Обычно это можно найти в технических характеристиках оборудования или руководстве пользователя. Потребляемая

мощность обычно указывается в ваттах или киловаттах и представляет собой количество энергии, необходимое для правильной работы оборудования.

В дополнение к требованиям к электропитанию, предъявляемым к отдельному оборудованию, также важно учитывать возможность одновременной работы нескольких единиц оборудования. На промышленном предприятии, как правило, одновременно работает несколько машин. Это означает, что общая нагрузка на систему будет выше, чем если бы использовалась только одна машина. Поэтому важно учитывать сценарий максимальной нагрузки, при котором все оборудование работает одновременно.

Еще одним фактором, который следует учитывать при расчете нагрузки, является коэффициент мощности. Коэффициент мощности является показателем того, насколько эффективно оборудование использует электроэнергию. Низкий коэффициент мощности указывает на то, что в системе много потерянной или неиспользуемой энергии, что может привести к неэффективной работе и увеличению затрат. При расчете нагрузок важно учитывать коэффициент мощности, чтобы гарантировать, что система электроснабжения имеет правильные размеры и способна удовлетворить фактические потребности оборудования в электроэнергии.

Перечень электрооборудования приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Наименование электроприемников и их мощности

Наименование	n	Установленная мощность		Ки, о.е.	cosφ, о.е.
		P _н , кВт	∑P _{ном} , кВт		
Насос	2	100,00	200,00	0,8	0,89
ЩО	1	0,21	0,2	0,8	0,98
Итого:	3	-	200,21	-	-

«Расчёт производим методом коэффициента максимума (упорядоченных диаграмм), так как известны все технические данные

электроприемников насосной станции и дано размещение их по территории» [15].

«Для каждого электроприемника из группы по формуле определяется средняя активная нагрузка на смену» [15].

$$P_{CM} = P_H \cdot k_H, \quad (8)$$

где k_H – коэффициент использования электроприемников;

P_H – номинальная мощность электроприемников, кВт;

P_{CM} – средняя мощность электроприемников за смену, кВт.

Средняя активная нагрузка насосов за смену:

$$P_{CM} = 200,00 \cdot 0,8 = 160,00 \text{ кВт.}$$

Средняя активная нагрузка ЩО за смену:

$$P_{CM} = 0,21 \cdot 0,8 = 0,16 \text{ кВт.}$$

Среднесменная активная мощность узла потребителей равна сумме средней активной нагрузки потребителей узла:

$$\Sigma P_{CM} = 160,00 + 0,16 = 160,17 \text{ кВт.}$$

В следствие за этим определяем по формуле среднесменную реактивную нагрузку:

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (9)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности.

Средняя реактивная нагрузка насосов за смену:

$$Q_{CM} = 160,00 \cdot 0,51 = 81,97 \text{ квар.}$$

Средняя реактивная нагрузка ЩО за смену:

$$Q_{CM} = 0,16 \cdot 0,20 = 0,03 \text{ квар.}$$

Среднесменная реактивная мощность узла потребителей равна сумме средней реактивной нагрузки потребителей узла:

$$\Sigma Q_{CM} = 81,97 + 0,03 = 82,00 \text{ квар.}$$

«По формуле определяют средневзвешенное значение коэффициента использования цеха» [15]:

$$k_{II} = \frac{\Sigma P_{CM}}{\Sigma P_{V\Sigma}}, \quad (10)$$

где ΣP_{CM} – среднесменная мощность узла потребителей, кВт;

$\Sigma P_{V\Sigma}$ – суммарная номинальная мощность СП, кВт.

$$k_{II} = \frac{160,17}{200,2} = 0,8.$$

«Далее по формуле определяют средневзвешенное значение $\text{tg}\varphi$, а по его значению в таблице определяем $\cos\varphi$ » [15]:

$$\text{tg}_{\varphi.уз} = \frac{\Sigma Q_{CM}}{\Sigma P_{CM}}, \quad (11)$$

где ΣQ_{CM} – среднесменная реактивная мощность узла, квар;

ΣP_{CM} – среднесменная активная мощность узла, кВт.

$$tg_{\varphi.уз} = \frac{82,00}{160,17} = 0,51.$$

Затем определяется эффективное число электроприемников:

$$n_э = \frac{(\sum P_H)^2}{\sum_1^n n p^2}, \quad (12)$$

где $P_{H.макс}$ – максимальная единичная мощность потребителя электроэнергии, кВт.

$$n_э = \frac{200,21^2}{200,00^2 + 0,21^2} = 1.$$

«Максимальные значения активной и реактивной мощности определяются по формулам» [15]:

$$P_M = \Sigma P_{CM} \cdot k_M; \quad (13)$$

$$Q_M = \Sigma Q_{CM} \cdot k'_M, \quad (14)$$

где ΣP_{CM} – среднесменная активная мощность, кВт.

ΣQ_{CM} – среднесменная активная мощность, квар.

k_M – коэффициент максимума активной нагрузки;

k'_M – коэффициент максимума реактивной нагрузки.

«В соответствии с практикой проектирования принимается $k'_M = 1,1$ при $n_э \leq 10$; $k'_M = 1$ при $n_э > 10$. Также, при значении $n_э = 0,1$ и $k_u = 0,8$, значение $k_M = 1,0$ » [7].

Тогда:

$$P_M = 160,17 \cdot 1 = 160,17 \text{ кВт};$$

$$Q_M = 82,00 \cdot 1,1 = 90,20 \text{ квар.}$$

«По формуле определяется полная расчетная мощность» [15]:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}; \quad (15)$$

$$S_M = \sqrt{160,17^2 + 90,20^2} = 183,82 \text{ кВт.}$$

«По формуле определяем расчетный ток узла» [15]:

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{Л}}; \quad (16)$$

$$I_M = \frac{183,82}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 279,30 \text{ А.}$$

Результат расчетов сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результат расчетов электрической нагрузки

Наименование	Средняя мощность		$n_э$	км	k'_M	Максимальная мощность			I _м , А
	P _{см} , кВт	Q _{см} , кВт				P _м , кВт	Q _м , кВт	S _м , кВА	
Насос	160,00	81,97	-	-	-	-	-	-	-
ЩО	0,17	0,03	-	-	-	-	-	-	-
Итого:	160,17	82,00	1	1	1,1	160,17	90,20	183,82	279,30

Далее будет выбор силовых трансформаторов для питания насосной станции.

2.3 Расчет силовых трансформаторов

«Число трансформаторов зависит от категории электроприемника. В насосной станции электроприемники относятся ко второй категории надежности. Для электроприемников второй категории необходимо два независимых источника питания т.е два независимых трансформатора трансформатора» [10].

«Потери активной мощности в трансформаторе определяются согласно формуле» [18]:

$$\Delta P = 0,02 \cdot S_{НН}, \quad (17)$$

где $S_{НН}$ – мощность на стороне низкого напряжения, кВА;

ΔP – потери активной мощности в трансформаторе, кВт.

$$\Delta P = 0,02 \cdot 183,82 = 3,68 \text{ кВт.}$$

«Потери реактивной мощности в трансформаторе определяются согласно формуле» [18]:

$$\Delta Q = 0,1 \cdot S_{ВН}; \quad (18)$$

$$\Delta Q = 0,1 \cdot 183,82 = 18,38 \text{ квар.}$$

«Потери полной мощности в трансформаторе определяются согласно формуле» [18]:

$$\Delta S = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta Q^2}; \quad (19)$$

$$\Delta S = \sqrt{3,68^2 + 18,38^2} = 18,75 \text{ кВА.}$$

«Полная мощность на стороне высокого напряжения определяется согласно формуле» [15]:

$$S_{BH} = S_{HH} + \Delta S; \quad (20)$$

$$S_{BH} = 183,82 + 18,75 = 202,57 \text{ кВА.}$$

«Расчетная мощность трансформатора, определяется по формуле» [20]:

$$S_{\text{ном.тр}} = \frac{S_{BH}}{k_3 \cdot N}, \quad (21)$$

где S_{BH} – полная мощность, кВА;

n – количество трансформаторов;

k_3 – коэффициент загрузки, для потребителей 2 категории $K_3 = 0,7$.

$$S_{\text{ном.тр}} = \frac{202,57}{0,7 \cdot 2} = 144,59 \text{ кВА.}$$

В данном случае ближайшее номинальное значение трансформаторов – 160 кВА [3].

Значение силы тока на вводе 10 кВ трансформатора определяется по формуле:

$$I_{\text{трВН}} = \frac{S_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}}; \quad (22)$$

$$I_{\text{трВН}} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 8,8 \text{ А.}$$

Значение силы тока на вводе 0,4 кВ трансформатора:

$$I_{\text{трНН}} = \frac{S_{\text{ТР}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}}; \quad (23)$$
$$I_{\text{трНН}} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 243,1 \text{ А.}$$

По результатам расчетов приняты два трансформатора ТМГ мощностью по 160 кВА.

2.4 Выбор питающих линий

Далее производим расчет для выбора воздушной линии 10 кВ, по которой будет поступать электроэнергия ТП 10/0,4 кВ.

Электролиния выбираются по условию:

1. По допустимому току нагрева.

Для ВЛ 10 кВ ток будет равен току на стороне ВН силового трансформатора – 8,8 А.

Для питающей ВЛ 10 кВ выбран провод АС сечением 16 мм² [12].

«Проверка воздушной линии по допустимому току нагрева выполняется по следующему условию» [16]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{линии}}.$$

В результате для ТП 10/0,4 кВ:

$$I_{\text{доп}} = 111 \text{ А} \geq I_{\text{трВН}} = 8,8 \text{ А.}$$

В процессе выполнения расчетов, линия электропередачи подходит по допустимому току нагрева.

2. По потере напряжения.

«Для проверки воздушной линии по потерям напряжения определяются потери напряжения в линии по формуле» [14]:

$$\Delta U = \frac{X \cdot Q + R \cdot P}{U_n}, \quad (24)$$

где R – активное сопротивление кабельной линии;

X – индуктивное сопротивление линии;

Q – реактивная мощность;

P – активная мощность.

Допускаемые потери напряжения (согласно [2]) не должны превысить 10%. Для напряжения 10,5 кВ это $\Delta U_{\text{ном}}=1050$ В.

Сопротивления кабельной линии определяется формулами [13]:

$$R = r_0 \cdot l; \quad (25)$$

$$X = x_0 \cdot l. \quad (26)$$

Сопротивления АС 3х16 протяженностью 5,0 км:

$$R = 1,80 \cdot 5,0 = 9,0 \text{ Ом};$$

$$X = 0,356 \cdot 5,0 = 1,8 \text{ Ом}.$$

Таким образом, для кабельной линии АС 3х16 протяженностью 5,0 км, потери напряжения в линии составят:

$$\Delta U = \frac{1,8 \cdot (90,20 + 18,38) + 9,0 \cdot (160,17 + 3,68)}{10,5} = 159,1 \text{ В}.$$

Потери менее 1050 В, линия электропередачи проходит проверку по потерям напряжения в сети.

Затем будем производить выбор кабельной линии, питающая насосную станцию.

Для КЛ 0,4 кВ ток будет равен току на стороне НН силового трансформатора – 243,1 А.

Для питающей КЛ 0,4 кВ выбран кабель АВББШв пятижильный сечением 150 мм² [19].

Производим проверку кабельной линии по допустимому току нагрева:

$$I_{\text{доп}} = 254 \text{ А} \geq I_{\text{трВН}} = 243,1 \text{ А.}$$

В процессе расчетов кабельная линия проходит проверку.

Сопровитвления АВББШв 5х150 длиной 0,05 км:

$$R = 0,21 \cdot 0,05 = 0,011 \text{ Ом};$$

$$X = 0,06 \cdot 0,05 = 0,003 \text{ Ом.}$$

Производим проверку кабельной линии по потерям напряжения:

$$\Delta U = \frac{0,003 \cdot 90,20 + 0,011 \cdot 160,17}{0,38} = 5,3 \text{ В.}$$

Потери напряжения в кабельной линии допустимы 380 В – $\Delta U_{\text{ном}}=38 \text{ В}$.

Потери менее 38 В, выбранный кабель проходит проверку по потерям напряжения в сети.

2.5 Расчет токов короткого замыкания

«Для дальнейшей проверки оборудования необходимо определить значение тока трехфазного короткого замыкания и ударного тока короткого замыкания» [11].

Для расчета токов КЗ составляется расчетная схема, на которой отмечен центр питания, значения базисного напряжения распределительных устройств, точки КЗ, а также основные элементы системы электроснабжения.

Расчетная схема приведена на рисунке 3.

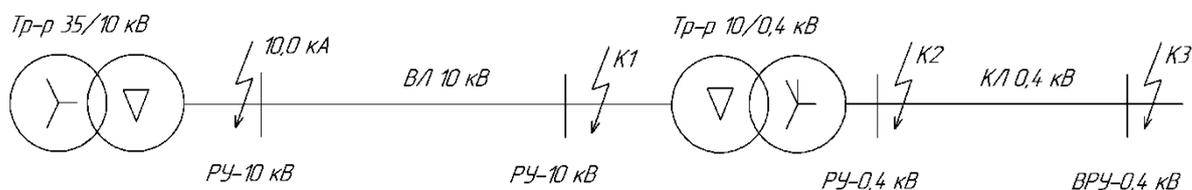


Рисунок 3 – Расчетная схема

На схеме замещения также отмечены базисные напряжения распределительных устройств, точки КЗ.

Отличие схемы замещения от расчетной заключается в том, что на схеме замещения показаны активные и индуктивные сопротивления элементов системы электроснабжения.

В дальнейших расчетах именно по схеме замещения будет определено сопротивление системы до точки КЗ. Схема замещения, для определения токов КЗ приведена на рисунке 4.

«Схема замещения представляет собой упрощенную схему электроснабжения с отмеченными на ней сопротивлениями основных структурных элементов» [12].

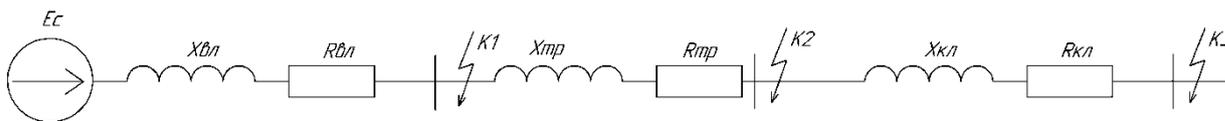


Рисунок 4 – Схема замещения

Точка К1 расположена на шинах 10 кВ ТП 10/0,4 кВ. Базисное напряжение в точке К1 составит:

$$U_{\delta 1} = 10,5 \text{ кВ.}$$

Ток трехфазного КЗ на шинах 10 кВ ПС 35/10 кВ составляет 10,0 кА.

Полное системы электроснабжения можно принять равным индуктивному сопротивлению, так как активное сопротивление системы будет ощутимо меньше и не воздействует на последующие вычисления.

«Таким образом, полное системы электроснабжения до точки К1, составит» [11]:

$$X_C = Z_C = \frac{U_{\delta 1}}{\sqrt{3} \cdot I_C}; \quad (27)$$

$$X_C = Z_C = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 10,0} 0,6 \text{ Ом.}$$

Общее индуктивное сопротивление системы до точки К1:

$$X_{K1} = X_C + X_{КЛ}, \quad (28)$$

где X_{K1} – результирующее реактивное сопротивление до точки К1, Ом;

X_C – реактивное сопротивление системы, Ом;

$X_{КЛ}$ – реактивное сопротивление кабельной линии, Ом.

Общее активное сопротивление системы до точки К1:

$$R_{K1} = R_{KL}, \quad (29)$$

где R_{K1} – результирующее активное сопротивление до точки К1, Ом;

R_{KL} – активное сопротивление кабельной линии, Ом.

Затем определяем полное сопротивление системы до точки К1:

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2}. \quad (30)$$

Тогда, по формулам 21-23:

$$X_{K1} = 0,6 + 1,8 = 2,4 \text{ Ом.}$$

$$R_{K1} = 9,0 \text{ Ом.}$$

$$Z_{K1} = \sqrt{9,0^2 + 2,4^2} = 9,3 \text{ Ом.}$$

«Значение установившегося трехфазного тока короткого замыкания»
[17]:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z}; \quad (31)$$

$$I_K^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 9,3} = 0,7 \text{ кА.}$$

Ток двухфазного короткого замыкания в точке К1:

$$I_{K\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K^{(3)}; \quad (32)$$

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,7 = 0,6 \text{ кА.}$$

Значение ударного тока КЗ равно:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_K^{(3)} \cdot K_{y\partial 1}, \quad (33)$$

где $K_{y\partial 1}$ – ударный коэффициент, равный 1,8 для секции шин 10 кВ и 1,3 для секции шин 0,4 кВ.

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 0,7 \cdot 1,8 = 1,8 \text{ кА.}$$

Затем будет выполнен расчет токов КЗ в точке К2.

Базисное напряжение в точке К2 будет равно:

$$U_{\delta 2} = 0,4 \text{ кВ.}$$

По справочным данным [19] определяем активное сопротивление трансформатора ТМГ-160/10/0,4 – 16,6 мОм, и индуктивное сопротивление – 41,7 мОм [19].

Значит:

$$R_{TP} = 16,6 \text{ мОм;}$$

$$X_{TP} = 41,7 \text{ мОм.}$$

«Общее активное сопротивление системы до точки К2 складывается из активного эквивалентного сопротивления системы и активного сопротивления трансформатора» [11]:

$$R_{K2} = R'_{K1} + R_{TP}, \quad (34)$$

где R'_{K1} – эквивалентное активное сопротивление в точке К2.

«Общее индуктивное сопротивление системы до точки К2 складывается из индуктивного эквивалентного сопротивления системы и индуктивного сопротивления трансформатора» [11]:

$$X_{K2} = X'_{K1} + X_{TP}, \quad (35)$$

где X'_{K1} – эквивалентное реактивное сопротивление в точке К2.

Полное сопротивление системы до точки К2 рассчитывается по формуле [4]:

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2}. \quad (36)$$

Эквивалентное активное сопротивление для точки К2 рассчитывается по формуле [4]:

$$R'_{K1} = R_{K1} \cdot \left(\frac{U_{\delta 2}}{U_{\delta 1}}\right)^2. \quad (37)$$

Эквивалентное индуктивное сопротивление для точки К2 рассчитывается по формуле [17]:

$$X'_{K1} = X_{K1} \cdot \left(\frac{U_{\delta 2}}{U_{\delta 1}}\right)^2, \quad (38)$$

Подставляя значения в формулы:

$$R'_{K1} = 9,0 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 = 0,0131 \text{ Ом} = 13,1 \text{ мОм};$$

$$X'_{K1} = 2,4 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 = 0,0035 \text{ Ом} = 3,5 \text{ мОм};$$

$$R_{K2} = 13,1 + 16,6 = 29,7 \text{ мОм};$$

$$X_{K2} = 3,5 + 41,7 = 45,2 \text{ мОм};$$

$$Z_{K2} = \sqrt{29,7^2 + 45,2^2} = 54,1 \text{ мОм}.$$

$$I_K^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 54,1} = 4,3 \text{ кА};$$

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,3 = 3,7 \text{ кА};$$

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 4,3 \cdot 1,3 = 7,9 \text{ кА}.$$

Для точки К3 расчет выполняются аналогично.

Результаты расчетов короткого замыкания в системе электроснабжения насосной станции приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчетов короткого замыкания

Точка КЗ	Uб, кВ	R, Ом	X, Ом	Z, Ом	I ⁽³⁾ , кА	I ⁽²⁾ , кА	Iуд, кА
К1	10,5	9,0	2,4	9,3	0,7	0,6	1,8
К2	0,4	0,030	0,045	0,054	4,3	7,9	3,7
К3	0,4	0,041	0,048	0,063	3,7	3,2	6,7

Следующим действием выполняем выбор и проверку оборудования.

2.6 Выбор оборудования ТП 10/0,4 кВ

«В РУ-10 кВ для коммутации электрических сетей выбраны выключатели нагрузки серии ВНА-10/630» [7].

В таблице 7 приведены результаты проверки выключателей нагрузки в РУ-10 кВ.

Таблица 7 – Результаты проверки выключателей нагрузки ВНА-10/630

Ячейка	I, А	Тип ВН	Ток ВН, А	Термическая стойкость	
				Расчетные данные	Паспортные данные
Ввод №1	8,8	ВНА-10/630	630	$I_{K1}^2 \cdot t = 0,7^2 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{np} = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Ввод №2	8,8	ВНА-10/630	630	$I_{K1}^2 \cdot t = 0,7^2 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{np} = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

«Далее выбираются предохранители 10 кВ. Выбирается предохранитель ПКТ-104-6-160-31,5 УЗ» [1].

Проверка выбранного предохранителя производится аналогично, результаты приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Проверка предохранителя ПКТ-101-10-20-20

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сет.ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} \leq U_{сет.ном}$
$I_{н,о} = 0,7 \text{ кА}$	$I_{np.c} = 20 \text{ кА}$	$I_{н,о} \leq I_{np.c}$
$i_{уд} = 1,8 \text{ кА}$	$i_{np.c} = 20 \text{ кА}$	$i_{уд} \leq i_{np.c}$

В РУ-0,4 кВ в ячейки ввода трансформаторов принимается выключатель типа ВА-99С [18].

В линейных панелях №2 и 4 – ЩО-01-08 используется автоматический выключатель ВА 51-35 [1].

В таблице 9 приведены результаты выбора автоматических выключателей для РУ-0,4 кВ.

Таблица 9 – Выбор автоматических выключателей

Номер панели	№ яч.	Назначение	Ток линии, А	$i_{уд}$, кА	Ток АВ А	ИДС, кА
1	1	Ввод 1	279,3	3,7	400	45
2	2	ВРУ (кабель 1)	279,3	3,7	100	36
	3	Резерв	–	–	–	–

Продолжение таблицы 9

Номер панели	№ яч.	Назначение	Ток линии, А	$i_{уд}$, кА	Ток АВ А	И _{дс} , кА
3	4	–	–	–	–	–
4	5	ВРУ (кабель 1)	279,3	3,7	100	36
	6	Резерв	–	–	–	–
5	7	Ввод	279,3	3,7	400	45

«Для создания видимого разрыва в вводной панели ЩО-01-49, а также в секционной ЩО-01-70 используется разъединитель РЕ19-35 с номинальным током 400 А» [1].

Проверка выбранного разъединителя приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Условие выбора разъединителя

Параметры	Расчетные данные	Условие	Паспортные данные
Номинальное напряжение	0,4	\leq	0,4
Номинальный ток	279,3	\leq	400

«Для измерения силы тока выбраны трансформаторы тока серии ТНШЛ-0,66» [7].

В таблице 11 приведены результаты проверки трансформаторов тока в РУ-0,4 кВ.

Таблица 11 – Выбор трансформаторов тока 0,4 кВ

Номер панели	№ яч.	Назначение	Ток линии, А	$i_{уд}$, кА	Ток ТТ А	И _{дс} , кА
1	1	Ввод 1	279,3	3,7	400/5	45
5	11	Ввод 2	279,3	3,7	400/5	45

Далее будет выбрано оборудование внутрицеховой сети насосной станции.

2.7 Выбор оборудования внутрицеховой сети

Выбор автоматического выключателя выполняется согласно условиям [11]:

$$I_{H.A.} \geq I_P; \quad (39)$$

$$I_{H.P.} \geq I_{ДЛ} - \text{для линий без ЭД};$$

$$I_{H.P.} \geq 1,25 \cdot I_{ДЛ} - \text{для линии с одним ЭД};$$

$$I_{H.P.} \geq 1,1 \cdot I_M - \text{для групповой линии с несколькими ЭД};$$

где $I_{H.A.}$ – номинальный ток автомата, А;

$I_{H.P.}$ – номинальный ток расцепителя, А;

$I_{ДЛ}$ – длительный ток в линии, А;

I_M – максимальный ток в линии, А.

Приводим пример расчета для насоса:

$$I_P = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot U_{Л}}; \quad (40)$$

$$I_P = \frac{100,0}{\sqrt{3} \cdot 0,98 \cdot 0,38} = 155,0 \text{ А.}$$

$$I_p = 26,6 \text{ А.}$$

Подбираем автоматический выключатель ВА 52-35 номинальным током 250А и током теплового расцепителя 250 А:

$$I_{H.A.} = 250 \text{ А} \geq I_P = 155,0 \text{ А};$$

$$I_{H.P.} = 250 \text{ А} \geq 1,25 \cdot I_{ДЛ} = 1,25 \cdot 155,0 = 193,8 \text{ А.}$$

Данный коммутационный аппарат проходит проверку.

Результаты расчета сведены в таблицу 12.

Таблица 12 – Выбор защитных аппаратов цеховых электрических сетей

Обозначение ЭП или узла питания на схеме	Тип автоматического выключателя	Расчетный ток линии, А	Номинальный ток аппарата защиты, А	Номинальный ток теплового расцепителя или, А
Ввод 1	ВА 53-41	279,3	400	400
Ввод 2	ВА 53-41	279,3	400	400
Насос	ВА 52-35	155,0	250	250
ЩО	ВА 57-31	0,32	25	25

Результаты выбора кабельных линий 0,4 кВ приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Результат выбора кабельных линий

Обозначение ЭП на плане цеха	Марка кабеля	Длина линии, м	Рабочий ток, А	Сечение по допустимому нагреву, мм ²	Длительно-допустимый ток, А	Потери напряжения в линии, В
Насос	ВВГ	0,01	155,0	5x70	196	0,80
ЩО	ВВГ	0,01	0,32	5x2,5	26	0,04

Таким образом, потери не превышают 10%.

Выводы по разделу 2.

По результатам расчета нагрузок выбраны два трансформатора ТМГ-160/10/0,4 кВ.

Питание КТП-10/0,4 кВ будет осуществлено по воздушным линиям АС сечением 16 мм². Питание насосной станции будет осуществлено по кабельным линиям АВБбШв сечением 150 мм².

Также выбрано коммутационное и защитное оборудование КТП-10/0,4 кВ, а также кабельные линии распределительной сети насосной станции.

3 Расчет заземления

«Заземление – преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электрической установки или оборудования с заземляющим устройством» [10].

Защитное заземление – заземление, выполненное в целях безопасности. Заземление включает в себя присоединение электрической системы к земле с помощью сети проводов и электродов [9].

Рабочее заземление – производится для должной работы электроустановок в нормальной или аварийной ситуации.

Заземление молниезащиты – преднамеренное электрическое присоединение с землей молниеприемников и разрядников с намерением отвода от них токов молнии в грунт [6].

Заземление включает в себя подключение электрической системы к земле с помощью сети проводов и электродов. Основная цель заземления подстанции - обеспечить канал с низким сопротивлением для передачи токов короткого замыкания на землю. Таким образом предотвращая повреждение оборудования и снижая риск поражения электрическим током [5].

Система заземления на подстанции состоит из различных компонентов, включая заземляющие электроды, провода и соединения [8].

Заземляющие электроды обычно закапываются в землю на определенной глубине и в определенных местах вокруг подстанции. Эти электроды изготовлены из материалов с высокой электропроводностью. Таких как медь или оцинкованная сталь, что облегчает отвод токов короткого замыкания в землю. Проводники соединяют электроды с оборудованием, обеспечивая непрерывный поток тока [6].

Результативность заземляющего устройства определяется условие [18]:

$$R_{3V} \leq 4 \text{ Ом.}$$

«Расчетное сопротивление вертикального заземлителя – электрода, определяется формулой» [18]:

$$r_e = 0,27 \cdot \rho \cdot K_{сез}, \quad (41)$$

где ρ - удельное сопротивление грунта;

$K_{сез}$ - коэффициент сезонности.

$$r_e = 0,27 \cdot 100 \cdot 1,7 = 45,9 \text{ Ом.}$$

«Требуемое число вертикальных заземлителей без учета экранирования определяется по формуле» [18]:

$$N'_{B.P} = \frac{r_B}{R_{3У}}, \quad (42)$$

где r_B - сопротивление одного вертикального электрода.

$$N'_{B.P} = \frac{45,9}{4} = 11,475.$$

Принято 12 электродов.

«Требуемое число вертикальных заземлителей с учетом экранирования определяется по формуле» [18]:

$$N_{B.P} = \frac{N'_{B.P}}{\eta_B}, \quad (43)$$

где η_B - коэффициент использования вертикального электрода.

$$N_{B.P} = \frac{12}{0,52} = 23,07 \text{ шт.}$$

Принято 24 электрода.

Периметр контура заземления определяется формулой:

$$L_{II} = (A + 2) \cdot 2 + (B + 2) \cdot 2 = 164 \text{ м.}$$

«Определяем уточненное значение сопротивления вертикального электрода по формуле» [18]:

$$R_B = \frac{r_B}{N_B \cdot \eta_B}, \quad (44)$$

$$R_B = \frac{45,9}{24 \cdot 0,52} = 3,67 \text{ Ом.}$$

«Определяем уточненное значение горизонтального электрода по формуле» [18]:

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot K_{\text{ces}} \cdot \rho}{L} \cdot \lg \frac{2l^2}{bt}, \quad (45)$$

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot 1,7 \cdot 100}{128} \cdot \lg \frac{2 \cdot 128^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 2,94 \text{ Ом.}$$

«Определяем фактическое значение заземляющего устройства по формуле» [18]:

$$R_{3\Phi} = \frac{R_B \cdot R_{\Gamma}}{R_B + R_{\Gamma}}, \quad (46)$$

$$R_{3\Phi} = \frac{3,67 \cdot 2,94}{3,67 + 2,94} = \frac{10,78}{6,61} = 1,63 \text{ Ом.}$$

$$R_{3\Phi} = 1,63 \text{ Ом} \leq R_{3Y} = 4 \text{ Ом.}$$

Условие выполняется.

Схема защитного заземления КТП 10/0,4 кВ приведена на рисунке 5.

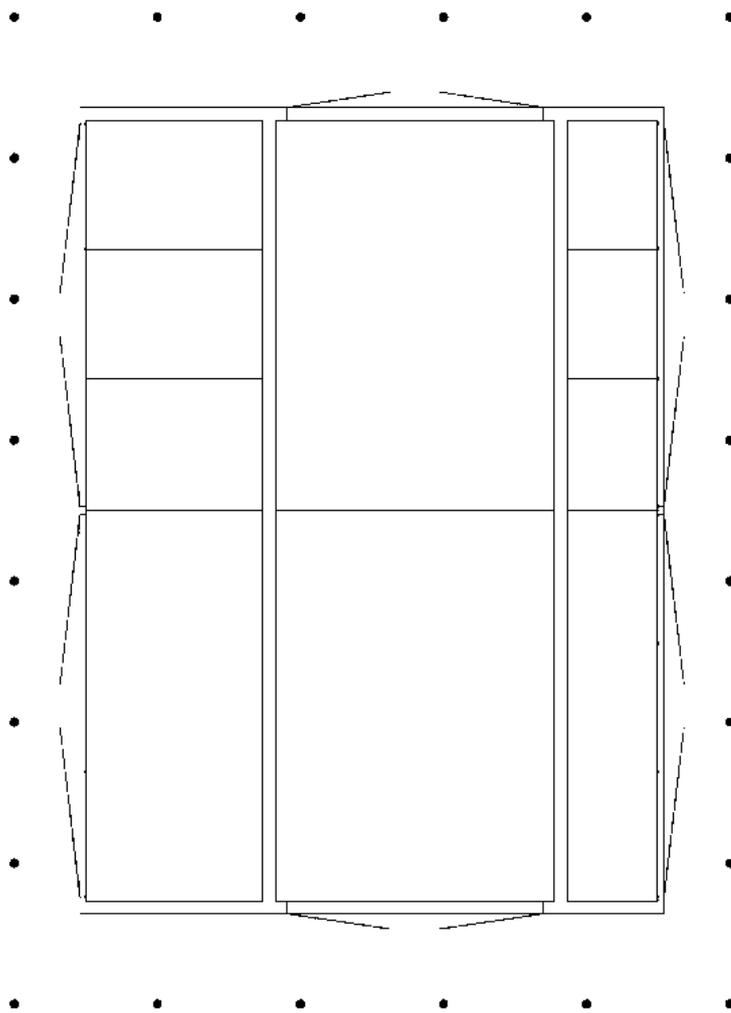


Рисунок 5 – Схема защитного заземления КТП 10/0,4 кВ

Согласно расчетам, принятая система заземления эффективна.

Выводы по разделу 3.

Принято, что для обеспечения защитного заземления требуется 24 вертикальных заземлителя.

4 Релейная защита и автоматика

4.1 Выбор устройства АВР

«Для обеспечения требуемого уровня надежности насосной станции выбран блок АВР серии OptiSave» [4].

Перечень условных обозначений на рисунке 6 приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Условные обозначения

Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечаний
A4	Блок АВР OptiSave	1	КЭАЗ
HL1, HL2	Сигнальная лампа	2	Schneider Electric
K1-K3	Реле промежуточное	3	Schneider Electric
KM1, KM2	Контактор	2	Schneider Electric
KM3	Контактор	1	Schneider Electric

Схема подключения блока АВР в сеть OptiSave приведена на рисунке 6.

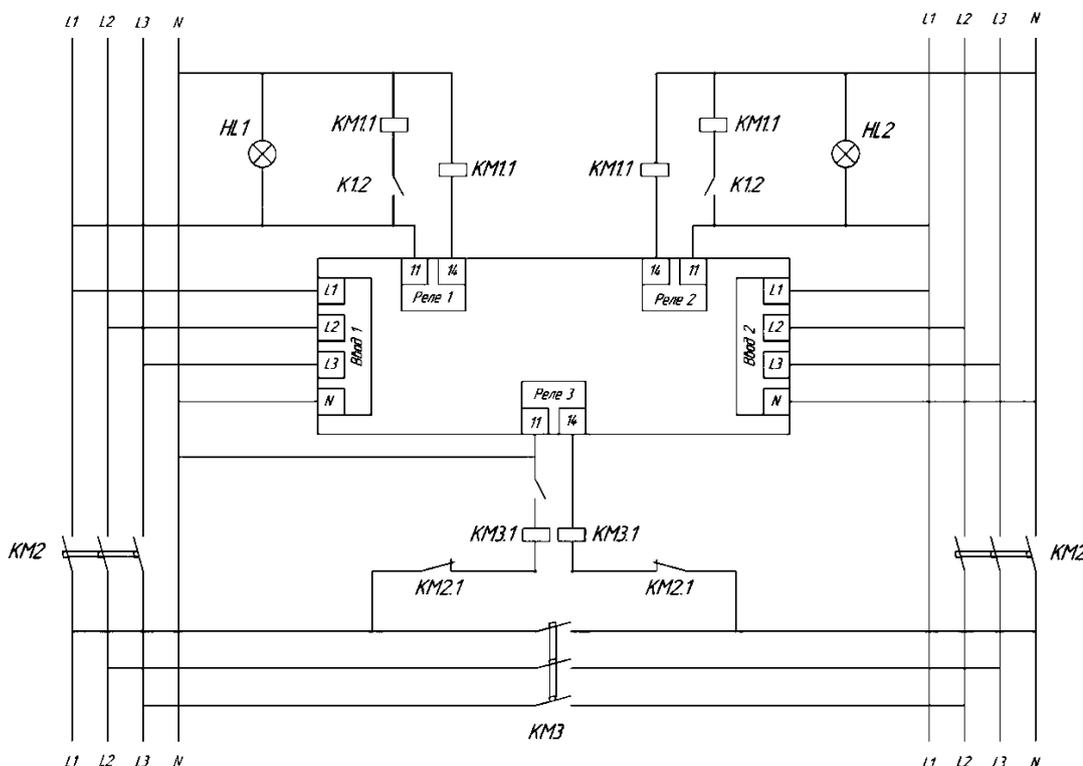


Рисунок 6 – Схема подключения блока АВР

«Блок автоматического ввода резерва OptiSave представляет собой устройство управления, предназначенное для автоматического переключения на резервную линию при неисправности или отключении рабочей линии» [4].

4.2 Расчет релейной защиты

Основной целью релейной защиты является обнаружение неисправностей и принятие соответствующих мер. Неисправности могут возникать из-за различных факторов, таких как короткое замыкание, перегрузка или повреждение изоляции. При возникновении неисправности система релейной защиты должна быстро обнаружить ее и изолировать неисправный участок от остальной системы. Это предотвращает дальнейшее повреждение оборудования и сводит к минимуму перебои в подаче электроэнергии. Системы релейной защиты спроектированы таким образом, чтобы быть высокочувствительными и оперативно реагирующими, обеспечивая своевременное обнаружение и изоляцию неисправностей [18].

Системы релейной защиты состоят из различных компонентов, которые взаимодействуют друг с другом для обеспечения эффективного обнаружения неисправностей и изоляции. К таким компонентам относятся трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, реле и автоматические выключатели. Трансформаторы тока и трансформаторы напряжения отвечают за измерение уровней тока и напряжения в системе. Они передают точные измерения на реле, которые затем анализируют данные и принимают решения на основе заранее заданных настроек. При обнаружении неисправности реле посылают сигналы на автоматические выключатели, приказывая им размыкаться и прерывать подачу электроэнергии.

Системы релейной защиты также играют важную роль в повышении стабильности энергосистемы. В ситуациях, когда возникают значительные сбои, такие как перепады напряжения, реле могут обнаружить эти отклонения и инициировать корректирующие действия. Эти действия могут включать

отключение несущественных нагрузок или включение компенсирующих устройств для стабилизации системы. Быстро реагируя на помехи, системы релейной защиты помогают поддерживать стабильность системы и предотвращать каскадные сбои.

Согласно ПУЭ, защита силовых трансформаторов мощностью 160 кВА не предусмотрена, таким образом, в данном разделе будет выполнен расчет релейной защиты фидера, питающего воздушную линию до КТП-10/0,4 кВ.

К установке на подстанции примем терминалы микропроцессорной защиты на базе блоков БМРЗ производства ООО «НТЦ «Механотроника».

По условию отстройки от трехфазных коротких замыканий в конце линии ток срабатывания ТО определяется по формуле [16]:

$$I_{ТО\ c.з.} = k_{омс} \cdot I_{КЗ}^{(3)}, \quad (47)$$

где $k_{омс}$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета и необходимый запас, выбирается $k_{омс} = 1,3$.

$$I_{ТО\ c.з.} = 1,3 \cdot 0,7 = 0,91 \text{ кА.}$$

Ток срабатывания токовой отсечки будет одинаков для всех присоединений.

Ток срабатывания максимальной токовой защиты:

$$I_{СЗ\ мтз} = \frac{k_{омс} \cdot k_{зан}}{k_{\epsilon}} \cdot I_{раб\ max}, \quad (48)$$

где $k_{омс}$ – коэффициент отстройки $k_{омс} = 1,2$;

$k_{зан}$ – коэффициент самозапуска двигателей потребителей, значение данного коэффициента принимается равным 2 [16];

k_{ϵ} – коэффициент возврата токового реле защиты, для микропроцессорной защиты равный $k_{\epsilon} = 0,95$ [16];

$I_{\text{раб max}}$ – максимальный рабочий ток присоединений.

Для фидера максимальный рабочий ток равен 8,8 А. Тогда:

$$I_{C3mm31} = \frac{1,2 \cdot 2}{0,95} \cdot 8,8 = 22,2 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности для максимальной токовой защиты фидера 4 определяется следующим образом [16]:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{K3}^{(2)}}{I_{C3mm31}}, \quad (49)$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{600}{22,2} = 27,0.$$

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5. Таким образом, условие проверки выполняется, что говорит о том, что уставки МТЗ для фидера выбраны верно.

Схема блоков БМРЗ производства ООО «НТЦ «Механотроника» приведена на рисунке 7.

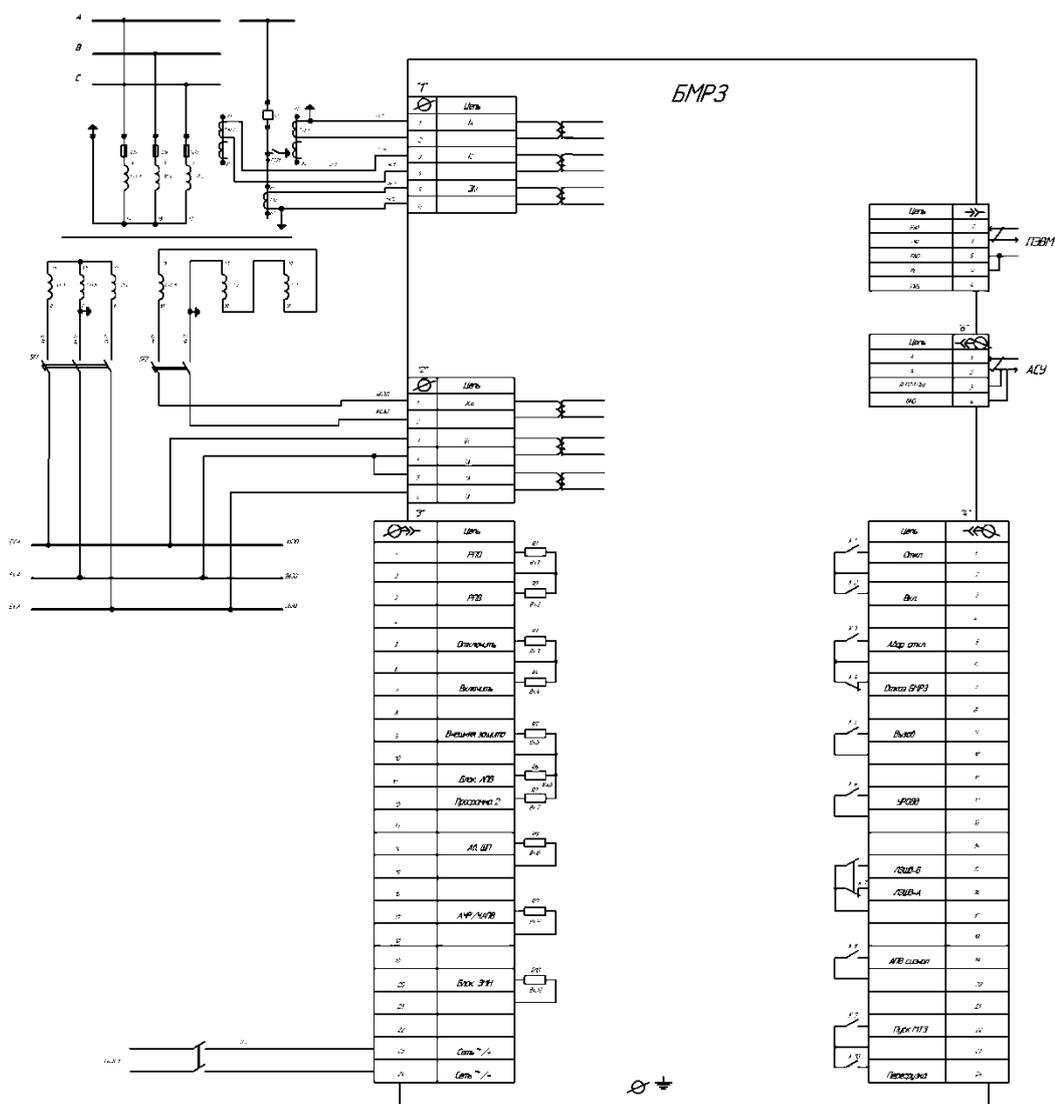


Рисунок 7 – Схема блоков БМР3 производства ООО «НТЦ «Механотроника»

Выводы по разделу 3.

Для насосной станции выбран АВР серии OptiSave.

Согласно ПУЭ, защита силовых трансформаторов мощностью 160 кВА не предусмотрена, таким образом, в данном разделе будет выполнен расчет релейной защиты фидера, питающего воздушную линию до КТП-10/0,4 кВ.

К установке на подстанции примем терминалы микропроцессорной защиты на базе блоков БМР3 производства ООО «НТЦ «Механотроника».

Заключение

Результатом работы является проект системы электроснабжения насосной станции электролампового завода в г. Уфе.

При написании работы решены ряд задач, связанных с разработкой планировки насосной станции, расчетом нагрузок, выбором трансформаторов и оборудования трансформаторной подстанции, а также оборудования распределительной сети. Кроме этого, выполнен выбор релейной защиты и защитного заземления.

Работа разделена на четыре раздела.

В первом разделе показана характеристика насосной станции.

Разработан план насосной станции электролампового завода.

Насосная станция состоит из трех помещений: производственного – машинный зал, а также двух бытовых – помещение ремонтников и санузел.

В машинном зале расположено два насоса с двигателями АО101-6М, а также панель ВРУ и щит управления электрооборудованием.

Во втором разделе выполнен расчет нагрузок системы освещения помещений насосной станции, расчет силовых нагрузок, а также произведен расчет общей нагрузки насосной станции.

Разработан план системы освещения.

Произведен выбор элементов системы электроснабжения насосной станции.

По результатам расчета нагрузок выбраны два трансформатора ТМГ-160/10/0,4 кВ.

Питание КТП-10/0,4 кВ будет осуществлено по двум независимым воздушным линиям переменного тока сечением 16 мм². Питание насосной станции будет осуществлено по двум независимым кабельным линиям АВББШв сечением 150 мм².

Также выбрано коммутационное и защитное оборудование КТП-10/0,4 кВ, а также кабельные линии распределительной сети насосной станции.

В третьем разделе выполнен расчет защитного заземления КТП-10/0,4 кВ насосной станции.

Установлено, что для обеспечения защитного заземления требуется 24 вертикальных заземлителя.

Выполнена схема расположения вертикальных заземлителей.

В четвертом разделе выполнен выбор систем релейной защиты и автоматики.

Для насосной станции выбран блок АВР серии OptiSave.

Согласно ПУЭ, защита силовых трансформаторов мощностью 160 кВА не предусмотрена, таким образом, в данном разделе будет выполнен расчет релейной защиты фидера, питающего воздушную линию до КТП-10/0,4 кВ.

К установке на подстанции примем терминалы микропроцессорной защиты на базе блоков БМРЗ производства ООО «НТЦ «Механотроника».

Список используемых источников

1. Булгаков С. С. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. – БСК, 2022. 51 с.
2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. 19 с.
3. ГОСТ Р 54419-2011. Трансформаторы силовые. Руководство по нагрузке силового трансформатора. – М.: Стандартинформ, 2012. 28 с.
4. Крючков, И. П., Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы./ И.П.Крючков., Б.Н. Неклепаев, – М.: Издат. дом «МЭИ», 2015. 544 с.
5. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ-016-2001): (серия 17, норматив. док. по надзору в электроэнергетике). – М.: ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2016. 208 с.
6. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2015. 224 с.
7. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения- М.: Форум-ИНФРА – М, 2021. 480 с.
8. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2017. 29 с.
10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – М.: Альвис, 2018. 632 с.
11. Рожкова Л. Д. Электрооборудование электрических станций и

подстанций: учебник / Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2019. 573 с.

12. Рокотян С.С., Шапиро И. М. Справочник по проектированию электрических сетей. 3-е издание – М; Энергоатомиздат, 2021. 352 с.

13. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.

14. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

15. Указания по расчету электрических нагрузок [Текст]: РТМ 36.18.32.4-92: утв. РАО ЕЭС России, 30.07.1992: ввод в действие с 01.01.1993. – М.: ЭНАС, 2003. 25 с.

16. Федоров А. А. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. – М.: Энергия, 2020. 345 с.

17. Шеховцов В.П. Осветительные установки промышленных и гражданских объектов. М.: Форум, 2024.– 158 с. – Текст : непосредственный.

18. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. М.: НИЦ ИНФРА–М, 2024. 214 с.

19. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению, М.: НИЦ ИНФРА–М, 2017. 136 с.

20. Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование -М.: НИЦ ИНФРА–М, 2024. 407 с.