

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 производственной базы МУП
«КОС» г. Норильск

Обучающийся

А.В. Солдаткин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

О.В. Федяй

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Выпускная квалифицированная работа (ВКР) состоит из 45 страниц, 12 рисунков, 6 таблиц, 21 источника.

В данной работе выполняется проектирование системы электроснабжения производственной базы МУП «КОС», г. Норильск.

Актуальность разработки: промышленное предприятие МУП «КОС», г. Норильск наращивает объемы выполняемых работ по очистке и обработке сточных вод. Планируется к постройке новая производственная база, на которой будут проводиться данные виды работ, а также неотложный ремонт различных элементов и деталей промышленного оборудования. На производственных участках объекта будет установлено большое число единиц промышленного оборудования, требующего обязательного питания электрической энергией. Это обуславливает актуальность темы работы, ее результаты и предложенные технические решения также возможно использовать при дальнейшем расширении производства предприятия и разработке систем электроснабжения для промышленных объектов данного и других подобных предприятий.

Содержание

Введение.....	4
1 Исходные данные	7
1.1 Общая характеристика предприятия.....	7
1.2 Характеристика производственной базы и производственных участков.....	8
2 Проектирование системы электроснабжения производственной базы.....	11
2.1 Определение электрических нагрузок	11
2.2 Выбор силовых трансформаторов и марки подстанции	12
2.3 Выбор кабелей высоковольтной питающей линий	16
2.4 Выбор кабелей распределительной сети	18
2.5 Расчет токов короткого замыкания	21
2.6 Выбор оборудования защиты линий.....	27
2.7 Обеспечение бесперебойного питания, выбор оборудования АВР.....	33
2.8 Расчет заземляющего устройства подстанции.....	36
Заключение	42
Список используемых источников.....	44

Введение

Электроснабжение промышленных предприятий является одной из ключевых составляющих современной экономики – в условиях глобализации и интенсивного развития промышленности, необходимость в надежных и эффективных источниках энергии становится все более актуальной. В России, как и во многих других странах, предприятия играют ключевую роль в обеспечении экономического роста и технологического прогресса. На российских предприятиях используются различные системы электроснабжения (СЭС), каждая из которых имеет свои особенности и преимущества. Например, на крупных производственных комплексах часто применяются централизованные системы, которые позволяют объединить несколько заводов в единую энергетическую сеть. Это позволяет не только повысить общую надежность электроснабжения, но и снизить затраты на строительство и эксплуатацию энергетических объектов. Обеспечение электроснабжения объектов требует постоянного внимания к вопросам безопасности и надежности, это включает в себя не только разработку и внедрение современных систем защиты, но и регулярное техническое обслуживание электрооборудования (ЭО).

Производственные базы (ПБ) – это одни из основных объектов в составе общего хозяйства предприятий. Здесь расположены различные производственные участки, такие как производственные цеха, мастерские, административно-бытовые корпуса, лаборатории, хранилища, насосные, испытательные цеха, компрессорные, гаражи, мастерские, автодепо и т.д. «Питание электрической энергией производственного оборудования обеспечивается от трансформаторных подстанций (ТП) 10/0,4 кВ или 6/0,4 кВ, а также (при малой электрической нагрузке участка) распределительных пунктов (РП) 0,4 кВ), которые питаются от расположенной рядом ТП другого участка» [3]. Обязательно учитываются требования Правил устройства электроустановок (ПУЭ) по обеспечению

надежности электроснабжения для соответствующих категорий потребителей. Невыполнение данного условия чревато недопустимыми перерывами питания электрической энергией ответственных потребителей, что приведет к большим экономическим и репутационным убыткам ввиду остановки технологических процессов. Возможны также угрозы жизни и здоровью людей (при отключении электроприводов вентиляции, например). В целом, электроснабжение крупных производственных баз осуществляется от главной понизительной подстанции (ГПП) или главного распределительного пункта (ГРП), а малых ПБ – от одной ТП 10/0,4 кВ или 6/0,4 кВ, питающей несколько РП 0,4/0,23 кВ производственных участков. ГПП, ГРП или ТП, в свою очередь, питаются от местной энергосистемы, например, от крупной электрической подстанции или проходящей рядом линии электропередачи (ЛЭП).

Промышленные предприятия играют ключевую роль в развитии экономики любого государства, они не только обеспечивают занятость населения и создают рабочие места, но и способствуют научно-техническому прогрессу, внедрению инноваций и повышению уровня жизни. Существует множество различных типов промышленных предприятий, от крупных заводов до малых производственных компаний. Стоит отметить предприятия малого и среднего бизнеса, которые играют важную роль в развитии экономики регионов, такие компании часто специализируются на производстве уникальных товаров и услуг, что способствует развитию местной экономики и созданию уникальных рабочих мест. Успешно функционирует множество малых предприятий в области медицины, информационных технологий и производства мебели, что способствует улучшению качества жизни и повышению уровня жизни. Очевидно, что предприятия являются неотъемлемой частью экономики любой страны. Они обеспечивают устойчивое развитие, внедряют инновации и способствуют социальному благополучию. В России, как и в других странах, развитие промышленности имеет огромное значение для обеспечения устойчивого

роста и процветания. В связи с этим критически важно обеспечивать качественное и надежное электроснабжение производственных объектов, в этом случае все технологические процессы с участием промышленного электрооборудования будут протекать в штатном режиме и эффективно.

Актуальность разработки: промышленное предприятие МУП «КОС», г. Норильск наращивает объемы выполняемых работ по очистке и обработке сточных вод. Планируется к постройке новая производственная база, на которой будут проводиться данные виды работ, а также неотложный ремонт различных элементов и деталей промышленного оборудования. На производственных участках объекта будет установлено большое число единиц промышленного оборудования, требующего обязательного питания электрической энергией. Это обуславливает актуальность темы работы, ее результаты и предложенные технические решения также возможно использовать при дальнейшем расширении производства предприятия и разработке систем электроснабжения для промышленных объектов данного и других подобных предприятий.

Цель работы: обеспечение надежного и безопасного электроснабжения производственной базы.

Задачи работы:

- систематизировать данные по объекту, определить основные требования к системе электроснабжения;
- рассчитать электрические нагрузки;
- выбрать оборудование СЭС, выполнить проверку по рабочим и аварийным режимам;
- рассчитать заземляющее устройство подстанции.

Практическая реализация предложенных решений по электроснабжению производственной базы обеспечит ее надежную и эффективную работу. Планируемый рост объемов выполняемых работ на предприятии будет обеспечен.

1 Исходные данные

1.1 Общая характеристика предприятия

Муниципальное унитарное предприятие (МУП) «Коммунальные объединенные системы» (КОС), г. Норильск является одним из основных поставщиков коммунальных услуг в регионе. Предприятие занимается сбором и обработкой сточных вод, а также обеспечивает водоснабжение и водоотведение для населения и промышленных предприятий. За свою историю предприятие пережило несколько реорганизаций и изменений в структуре управления. В настоящее время МУП «КОС» продолжает развиваться и модернизировать свои технологии для обеспечения надёжного и качественного предоставления коммунальных услуг населению [11].

Основные направления деятельности МУП «КОС»:

- сбор и очистка сточных вод, предприятие собирает сточные воды от жилых домов, общественных зданий и промышленных предприятий и обрабатывает их, чтобы предотвратить загрязнение окружающей среды;
- водоснабжение, предприятие обеспечивает население чистой водой, которая соответствует всем санитарным нормам и требованиям;
- водоотведение, осуществляет отвод и очистку сточных вод, которые затем возвращаются в окружающую среду без вреда для экологии.

Для выполнения своих задач МУП «КОС» использует современное оборудование и технологии, постоянно совершенствует свои методы работы и «внедряет новые технологии, чтобы повысить эффективность своей деятельности и обеспечить надёжное предоставление коммунальных услуг населению» [11].

Также в рамках увеличения объемов оказываемых услуг и развития своей деятельности, предприятие строит различные новые промышленные объекты, включая производственные базы.

1.2 Характеристика производственной базы и производственных участков

На рассматриваемой производственной базе (ПБ) будет осуществляться сбор и очистка сточных вод, их накопление, а также накопление чистой воды. Данная новая ПБ будет построена и введена в эксплуатацию в дополнение к действующей аналогичной по своей инфраструктуре и составу электроприемников производственной базе. Постройка и ввод в эксплуатацию дополнительной ПБ обеспечат потребности предприятия для своей деятельности на данном рабочем участке г. Норильск, позволят ввести в эксплуатацию дополнительные промышленные предприятия.

Генеральный план производственной базы показан на рисунке 1.

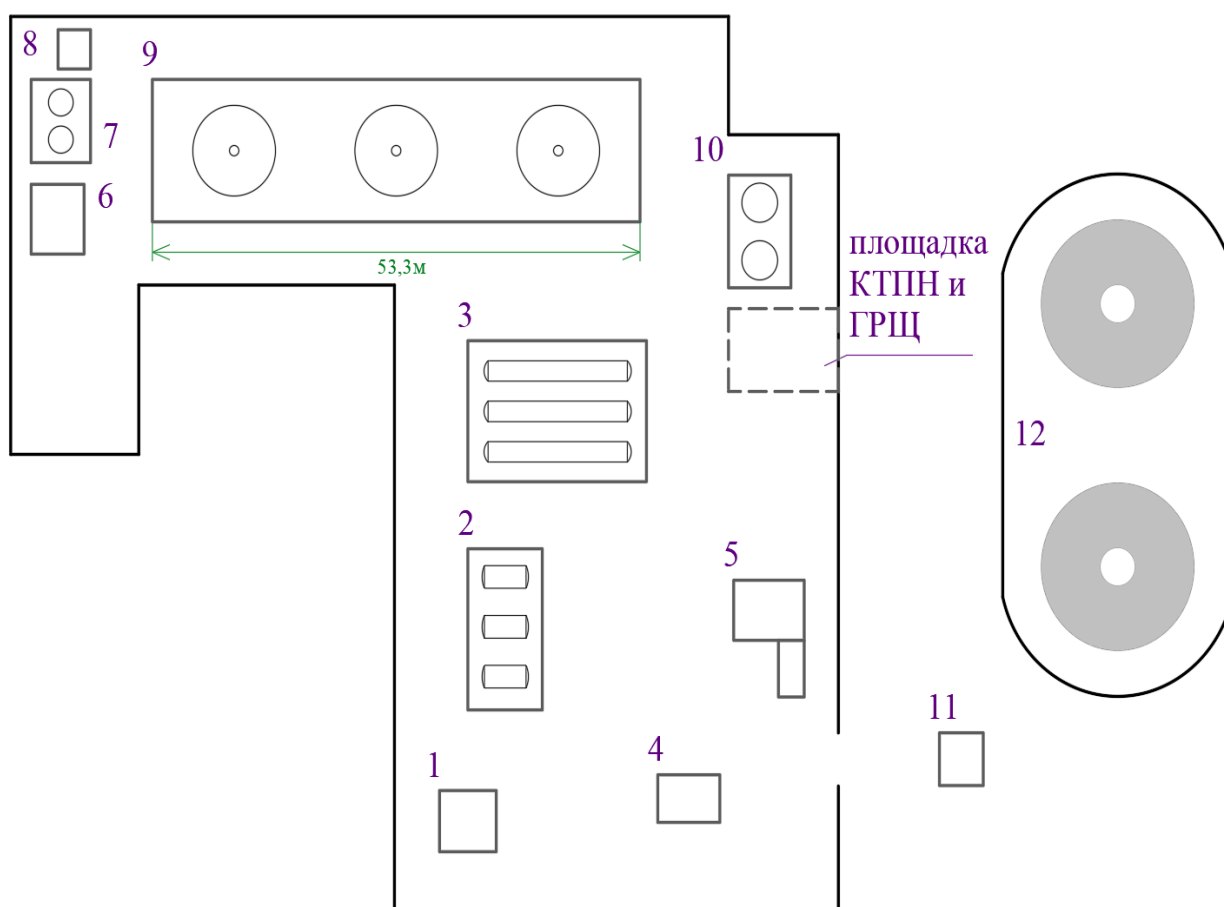


Рисунок 1 – Генеральный план производственной базы

Перечень производственных участков (ПУ), а также их электрические нагрузки, средневзвешенные коэффициенты спроса нагрузок и мощности приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень производственных участков

№ на генплане	Участки	P_n , кВт	K_c	$\cos\varphi$
1	Насосная	209,6	0,5	0,86
2	Участок первичной очистки сточных вод	280,2	0,85	0,9
3	Участок конечной очистки сточных вод	110,3	0,87	0,87
4	Блок подачи реагентов	17,1	0,75	0,76
5	Административное здание	60,4	0,4	0,91
6	Компрессорная	44,7	0,7	0,88
7	Блок технологических резервуаров	54,4	0,45	0,82
8	Насосная	65,8	0,55	0,87
9	Резервуарный парк сточных вод	64,4	0,2	0,84
10	Блок дренажных емкостей	39,8	0,35	0,85
11	Лаборатория	21,8	0,9	0,95
12	Резервуарный парк чистой воды	36,7	0,65	0,83

«Питание ПУ выполнено от распределительных пунктов (РП) 0,4 кВ, присоединенных к главному распределительному щиту (ГРЩ), установленному на одной площадке с трансформаторной подстанцией (ТП) 10/0,4 кВ и подключенному к ней двухцепной кабельной линией (КЛ) 0,4 кВ» [10].

Можно отметить следующее устаревшее ЭО, установленное на подстанции:

- масляные выключатели;
- вентильные разрядники;
- силовые трансформаторы с высокими внутренними потерями энергии;
- измерительные трансформаторы и автоматические выключатели устаревшей конструкции.

Линии питания ТП, ГРЩ и РП выполнены кабелями устаревших марок с бумажной пропитанной изоляцией. ПУ относятся к первой (насосные и компрессорная), третьей (административное здание) и второй (все остальные ПУ) категориям надежности электроснабжения. Схема действующей системы электроснабжения приведена на рисунке 2.

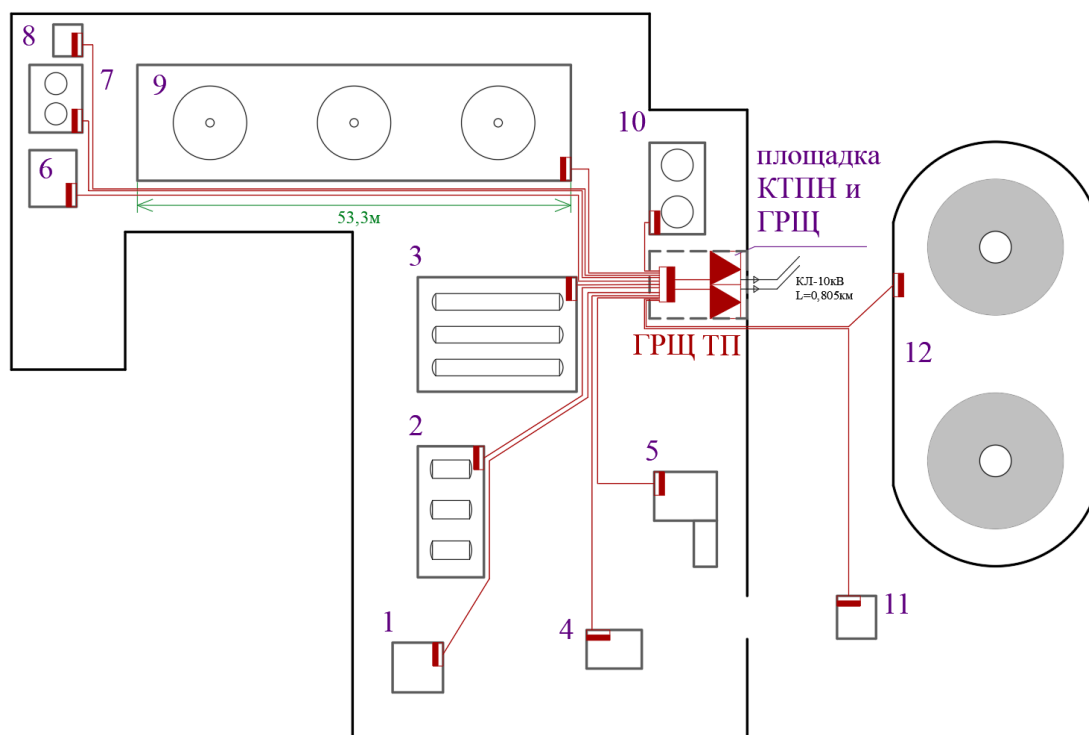


Рисунок 2 – Схема действующей системы электроснабжения

Выводы по разделу 1. МУП «Коммунальные объединенные системы», г. Норильск – это один из основных поставщиков коммунальных услуг в регионе. Постройка и ввод в эксплуатацию дополнительной ПБ обеспечат потребности предприятия для своей деятельности на данном рабочем участке г. Норильск, позволят ввести в эксплуатацию дополнительные промышленные предприятия. Выявлены ключевые недостатки СЭС действующей производственной базы, которые будут учтены при разработке СЭС новой производственной базы.

2 Проектирование системы электроснабжения производственной базы

2.1 Определение электрических нагрузок

«Расчёт электрических нагрузок предприятия играет важную роль в обеспечении надёжного и эффективного функционирования системы электроснабжения» [10]. Он позволяет определить оптимальные параметры работы электрооборудования, минимизировать потери энергии и обеспечить безопасность эксплуатации. По результатам далее определяются расчётные токи элементов питающей сети, выбираются сечения проводников и защитные аппараты, а также уточняются мощности трансформаторов, это позволяет создать надёжную и эффективную систему электроснабжения предприятия.

«Для расчета электрических нагрузок используется метод коэффициента спроса активной мощности.

Формулы для расчета среднесменных активных, реактивных и полных мощностей:

$$P_c = K_c \cdot P_{ном}, \quad (1)$$

где K_c – коэффициент спроса активной мощности;

$P_{ном}$ – нагрузка электроприемников, кВт» [10].

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}. \quad (3)$$

Для участка №1, по (1,2,3):

$$P_c = 0,5 \cdot 209,6 = 104,8 \text{ кВт},$$

$$Q_c = 104,8 \cdot 0,593 = 62,18 \text{ квар},$$

$$S_c = \sqrt{104,8^2 + 62,18^2} = 121,86 \text{ кВА}.$$

Электрические нагрузки представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Определение электрических нагрузок

Участки	Р _н , кВт	К _с	tgφ	Среднесм. нагрузки		
				Р _с , кВт	Q _с , квар	Sc, кВА
Насосная	209,6	0,5	0,593	104,80	62,18	121,86
Участок первичной очистки сточных вод	280,2	0,85	0,484	238,17	115,35	264,63
Участок конечной очистки сточных вод	110,3	0,87	0,567	95,96	54,38	110,30
Блок подачи реагентов	17,1	0,75	0,855	12,83	10,97	16,88
Административное здание	60,4	0,4	0,456	24,16	11,01	26,55
Компрессорная	44,7	0,7	0,540	31,29	16,89	35,56
Блок технологических резервуаров	54,4	0,45	0,698	24,48	17,09	29,85
Насосная	65,8	0,55	0,567	36,19	20,51	41,60
Резервуарный парк сточных вод	64,4	0,2	0,646	12,88	8,32	15,33
Блок дренажных емкостей	39,8	0,35	0,620	13,93	8,63	16,39
Лаборатория	21,8	0,9	0,329	19,62	6,45	20,65
Резервуарный парк чистой воды	36,7	0,65	0,672	23,86	16,03	28,74
Σ	1005	0,635	0,550	638,16	347,81	728,34

Освещение территории будет выполнено светодиодным автономным, поэтому данная нагрузка не учитывается [5].

2.2 Выбор силовых трансформаторов и марки подстанции

Компенсация реактивной мощности (КРМ) будет производиться на шинах 0,4 кВ подстанции и снизит нагрузку на силовые трансформаторы.

Компенсация реактивной мощности (КРМ) является важным аспектом в области электротехники и энергетики, особенно в контексте повышения эффективности работы электрических сетей и оборудования. Реактивная

мощность, в отличие от активной, не выполняет полезной работы, но необходима для создания магнитных полей в индуктивных устройствах, таких как трансформаторы и электродвигатели. «Избыточная реактивная мощность может привести к снижению качества электроэнергии, увеличению потерь в проводах и необходимости в более мощных трансформаторах» [1]. Реактивная мощность измеряется в вольт-амперах реактивных (вар) и возникает в системах с индуктивными и емкостными нагрузками. В индуктивных нагрузках, таких как электродвигатели, реактивная мощность необходима для создания магнитного поля, но сама по себе не потребляет энергию. В то же время, емкостные нагрузки, например, конденсаторы, могут генерировать реактивную мощность, важно отметить, что реактивная мощность не может быть полностью устранена, но ее можно компенсировать. КРМ является ключевым элементом в управлении электрическими сетями, она не только способствует повышению эффективности и надежности работы оборудования, но и позволяет снизить затраты на электроэнергию [4].

«Требуемая для компенсации реактивная нагрузка:

$$Q_{к.у.} = 0.9 \cdot P_p \cdot (tg\varphi - tg\varphi_k), \quad (4)$$

где P_p – нагрузка, кВт;

$tg\varphi$ – тангенс угла φ до КРМ;

$tg\varphi_k$ – нормативный тангенс угла φ » [19].

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot 638,16 \cdot (0,545 - 0,33) = 123,5 \text{ квар.}$$

На шинах НН подстанции будет установлено две автоматические установки АУКРМ по 62,5 квар.

КРМ рассчитана в таблице 3.

Таблица 3 – Компенсация реактивной мощности

Показатели	cosφ	tgφ	Pp, кВт	Qp, квар	Sp, кВА
Всего на НН	0,878	0,545	638,16	347,81	726,79
КУ, квар	-	-	-	125	-
Всего на НН с КУ	0,944	0,349	638,16	222,81	675,94
Потери	-	-	13,52	67,59	-
Всего на ВН с КУ	-	-	651,68	290,41	713,46

Потери в трансформаторах:

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot S_p, \quad (5)$$

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot 675,94 = 13,52 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot S_p, \quad (6)$$

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot 675,94 = 67,59 \text{ квар}.$$

Нагрузка ТП по стороне ВН, по (3):

$$S'_p = \sqrt{(638,16 + 13,52)^2 + (222,81 + 67,59)^2} = 713,46 \text{ кВА}.$$

Внешний вид установки АУКРМ показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Установка АУКРМ

«Необходимая мощность трансформаторов:

$$S_m \geq K_{з.н.} \cdot S_{р.к.}, \quad (7)$$

где $K_{з.н.}$ – нормативный коэффициент загрузки;

$S_{р.к.}$ – нагрузка, кВА» [14].

$$S_m \geq 0,7 \cdot 675,94 = 473 \text{ кВА.}$$

Принимается два энергоэффективных трансформатора марки ТМГ33 ХЗК2-630-10/0,4.

«Трансформаторы ТМГ33 ХЗК2 представляют собой трёхфазные масляные трансформаторы, разработанные для преобразования электроэнергии в сетях энергосистем и потребителей. Они соответствуют классу энергоэффективности ХЗК2, уровень потерь холостого хода и короткого замыкания значительно снижен. Трансформаторы предназначены для наружной или внутренней установки в условиях умеренного или холодного климата, не предназначены для работы в условиях тряски, вибрации, ударов или в химически активной среде. Обмотка низшего напряжения выполнена из алюминиевой фольги, что обеспечивает простоту намотки и высокий уровень надёжности. Для контроля уровня масла в предусмотрен маслоуказатель поплавкового типа, а для предотвращения избыточного давления в баке установлен предохранительный клапан, также возможно оснащение трансформаторами электроконтактным мановакуумметром для контроля внутреннего давления и сигнализацией в случае превышения допустимых величин» [7]. Трансформаторы ТМГ33 ХЗК2 поставляются с транспортными роликами для перемещения в продольном и поперечном направлениях.

«Коэффициент загрузки в аварийном режиме:

$$K_{з.ав.} = \frac{S_{p.к.}}{S_m}, \quad (8)$$

где S_m – номинальная мощность, кВА» [19].

$$K_{з.ав.} = \frac{675,94}{630} = 1,073 \leq 1,4.$$

Установка современной комплектной ТП марки 2×КТПН-630/10/0,4 со штатным комплектом оборудования позволит сократить затраты на монтаж, установку и наладку, а также сократить экономические затраты в целом, повысить удобство эксплуатации и ремонт ТП.

2.3 Выбор кабелей высоковольтной питающей линий

«Расчетный ток линии:

$$I_p = \frac{S'_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n}, \quad (9)$$

где S'_p – нагрузка, кВА;

U_n – напряжение, кВ;

n – число цепей, шт» [3].

$$I_p = \frac{713,46}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 20,6 \text{ А.}$$

«Экономическое сечение жил:

$$F_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}}, \quad (10)$$

где $j_{\text{эк}}$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [3].

$$F_{\text{эк}} = \frac{20,6}{1,4} = 14,7 \text{ мм}^2.$$

Выбирается кабель АПвП-3×16 мм².

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) представляют собой современное решение, которое сочетает в себе высокую надежность, долговечность и экологичность; в отличие от традиционных кабелей с бумажной или поливинилхлоридной изоляцией, СПЭ обладают рядом преимуществ, которые делают их использование более выгодным и безопасным. Изоляция из сшитого полиэтилена обладает высокой устойчивостью к механическим повреждениям, это достигается за счет создания поперечных связей в полимерных молекулах, что делает материал более прочным и долговечным. Такие кабели могут использоваться в условиях с высокой нагрузкой, включая экстремальные условия эксплуатации. СПЭ-изоляция обладает высокой термической стабильностью, это позволяет кабелям выдерживать большие токи без риска перегрева и возгорания. В отличие от традиционных кабелей, СПЭ-изоляция не поддерживает горение и не выделяет токсичных газов при пожаре, что делает их безопасными для использования в жилых и промышленных зонах. Наконец, изоляция из сшитого полиэтилена обладает высокой гибкостью, что позволяет прокладывать кабели в сложных условиях, включая пересеченную местность и подземные коммуникации. Это делает их эксплуатацию более удобной и эффективной.

Аварийный ток линии, по (9):

$$I_{\text{ав}} = \frac{713,46}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} = 41,19 \text{ А.}$$

«Допустимый ток кабеля:

$$I'_{\text{доп}} = I_{\text{доп}} \cdot K_{\text{нов}} \cdot K_{\text{ср}} \cdot K_{\text{нон}}, \quad (11)$$

где $I_{\text{доп}}$ – паспортный ток, А;

$K_{\text{нов}}$, $K_{\text{ср}}$, $K_{\text{нон}}$ – коэффициенты недогруженности КЛ, среды и групповой прокладки» [3].

$$I'_{\text{доп}} = 75 \cdot 1,25 \cdot 1,08 \cdot 0,93 = 94,163 \text{ А} > I_{\text{ав}}.$$

«Потери напряжения в линии:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot 100}{U_{\text{н}}} (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (12)$$

где I_p – максимальный ток КЛ, А;

L – длина КЛ, км;

r_0 , x_0 – удельные сопротивления кабеля, Ом/км» [12].

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 41,19 \cdot 0,805 \cdot 100}{10} (1,94 \cdot 0,913 + 0,102 \cdot 0,407) = 0,26 \% < 5 \%$$

Потери напряжения в рамках допустимых пределов.

2.4 Выбор кабелей распределительной сети

Действующая схема распределительной сети – радиальная, каждый участок питается по отдельной линии от ГРЩ, схему предлагается оставить без изменений, так как она удовлетворяет всем эксплуатационным требованиям.

План трасс кабельных линий показан на рисунке 4.

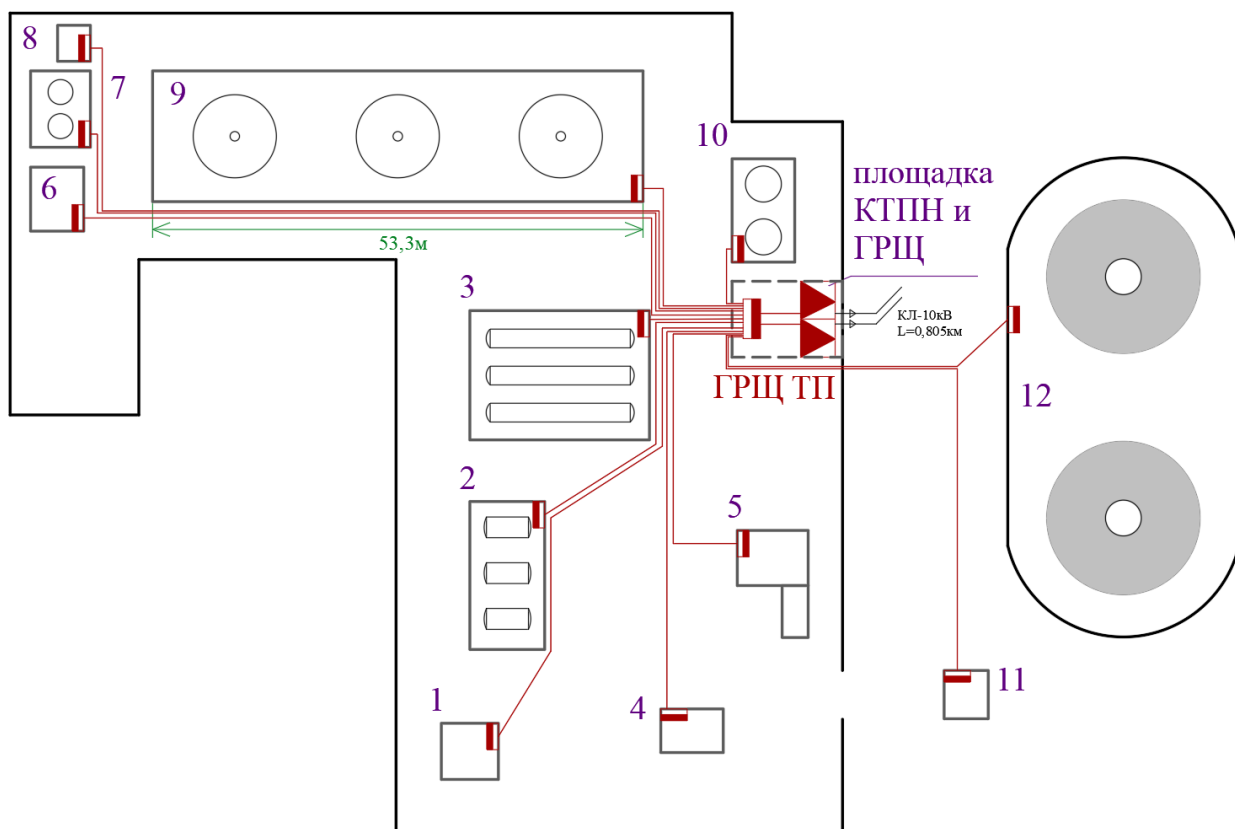


Рисунок 4 – План трасс кабельных линий

Преимущества радиальной схемы электроснабжения:

- имеет простую структуру, состоящую из одного источника питания, подключённого к потребителям через распределительные устройства, это обеспечивает надёжное электроснабжение и упрощает обслуживание и ремонт системы;
- позволяет легко организовать резервирование источников питания, что повышает надёжность электроснабжения, в случае аварии на одном из участков сети, питание потребителей может быть переключено на другой источник;
- радиальные схемы легко адаптируются к изменениям в нагрузке и требованиям потребителей, добавление новых потребителей или изменение их мощности может быть выполнено путём подключения дополнительных ветвей к существующей системе;

- «обеспечивает хорошую защиту от коротких замыканий и перегрузок, это достигается благодаря использованию автоматических выключателей, предохранителей и других защитных устройств, а также индивидуальным питанием всех участков» [8].

Для питания участков принимаются кабели марки АВБШв.

Расчет для КЛ до участка №1.

«Максимальный ток линии:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (13)$$

где S_p – нагрузка, кВА;

U_n – напряжение, кВ» [19].

$$I_p = \frac{243,7}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 370,3 \text{ А}$$

Выбирается кабель АВБШв-4×185+1×95, $I_{\text{доп}} = 380 \text{ А}$.

«При расчете потерь напряжения в сети до 1 кВ индуктивным сопротивлением проводов можно пренебречь» [14]. Потери напряжения, согласно (12):

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 370,3 \cdot 61,36 \cdot 100}{0,38} (0,00016 \cdot 0,86 + 0 \cdot 0,307) = 1,43 \% < 5 \%$$

Для распределительной сети кабели выбраны в таблице 4.

Таблица 4 – Выбор кабелей распределительной сети

№ участка	I_p , А	Марка кабеля АВБШв	$I_{доп}$, А	ΔU , %
1	370,3	АВБШв-4×185+1×95	380	1,43
2	473,0	2×АВБШв-4×120+1×70	560	1,04
3	192,6	АВБШв-4×70+1×35	220	0,11
4	34,2	АВБШв-5×6	55	1,11
5	100,8	АВБШв-4×25+1×16	125	0,60
6	77,2	АВБШв-5×16	90	1,56
7	100,8	АВБШв-4×25+1×16	125	1,44
8	114,9	АВБШв-4×25+1×16	125	1,81
9	116,5	АВБШв-4×25+1×16	125	0,44
10	71,1	АВБШв-5×10	75	0,24
11	34,9	АВБШв-5×6	55	1,45
12	67,2	АВБШв-5×10	75	1,02
ввод ГРЩ	1106,6	3×АВБШв-4×185+1×95	1140	0,11

Все кабели подходят по параметрам.

2.5 Расчет токов короткого замыкания

«Токи короткого замыкания (ТКЗ) – это явление резкого увеличения значения электрического тока в цепи вследствие уменьшения внешнего сопротивления до нуля, они возникают при замыкании проводника между точками электрической цепи с разными потенциалами. Причиной КЗ чаще всего является нарушение изоляции проводов из-за их износа, неправильной эксплуатации или механических повреждений в электрической цепи или ЭО, также КЗ может возникнуть из-за перегрузок сети. В случае возникновения КЗ основная часть электрического тока течёт по проводнику, минуя потребитель тока, так как сопротивление участка цепи уменьшается, общее сопротивление цепи сильно уменьшается, и в результате сила тока в ней

резко возрастает. КЗ может вызвать расплавление проводов, воспламенение изоляции и в конечном итоге привести к возгоранию горючих предметов вокруг места короткого замыкания и к пожару» [14]. Для предотвращения КЗ необходимо следить за состоянием изоляции проводов, правильно эксплуатировать ЭО и соблюдать правила техники безопасности при работе с электрическими сетями.

Расчетная схема и смеха замещения для определения ТКЗ на шинах 10 кВ подстанции приведены на рисунке 5.

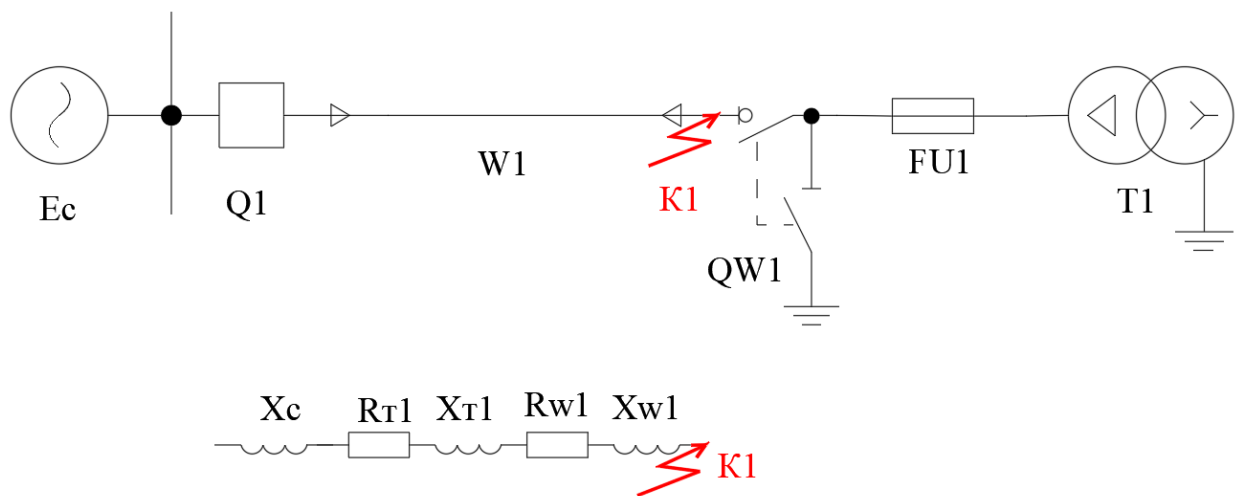


Рисунок 5 – Расчетная схема и смеха замещения

«Сопротивление системы:

$$X_c = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot I_{к.з.ФВД}^{(3)}}, \quad (14)$$

где U_k – напряжение КЗ, кВ;

$I_{к.з.ФВД}^{(3)}$ – трехфазный ток КЗ на питающем фидере» [17].

$$X_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 10,62} = 0,571 \text{ Ом.}$$

«Сопротивления КЛ 10 кВ:

$$X_{w1} = x_0 \cdot L_{w1}, \quad (15)$$

$$R_{w1} = r_0 \cdot L_{w1}, \quad (16)$$

где L_{w1} – длина КЛ, км» [17].

$$X_{w1} = 0,102 \cdot 0,51 = 0,052 \text{ Ом};$$

$$R'_{w1} = 1,94 \cdot 0,51 = 0,989 \text{ Ом}.$$

Полное сопротивление до точки К1:

$$Z_{\kappa 0} = \sqrt{R_{\kappa 0}^2 + X_{\kappa 0}^2}, \quad (17)$$

$$Z_{\kappa 0} = \sqrt{0,989^2 + (0,571 + 0,052)^2} = 1,169 \text{ Ом}.$$

«Трехфазный ток КЗ:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{\kappa}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\kappa}}, \quad (18)$$

где U_{κ} – напряжение КЗ, кВ;

Z_{κ} – полное сопротивление цепи, Ом» [17].

$$I_{\kappa 0}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,169} = 5,19 \text{ кА}.$$

«Ударный ток КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (19)$$

где K_y – ударный коэффициент» [17].

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 5,19 = 13,2 \text{ кА.}$$

Двухфазный ток КЗ:

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (20)$$

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5,19 = 4,49 \text{ кА.}$$

Расчет на шинах 0,4 кВ ТП.

Расчетная схема и схема замещения представлены на рисунке 6.

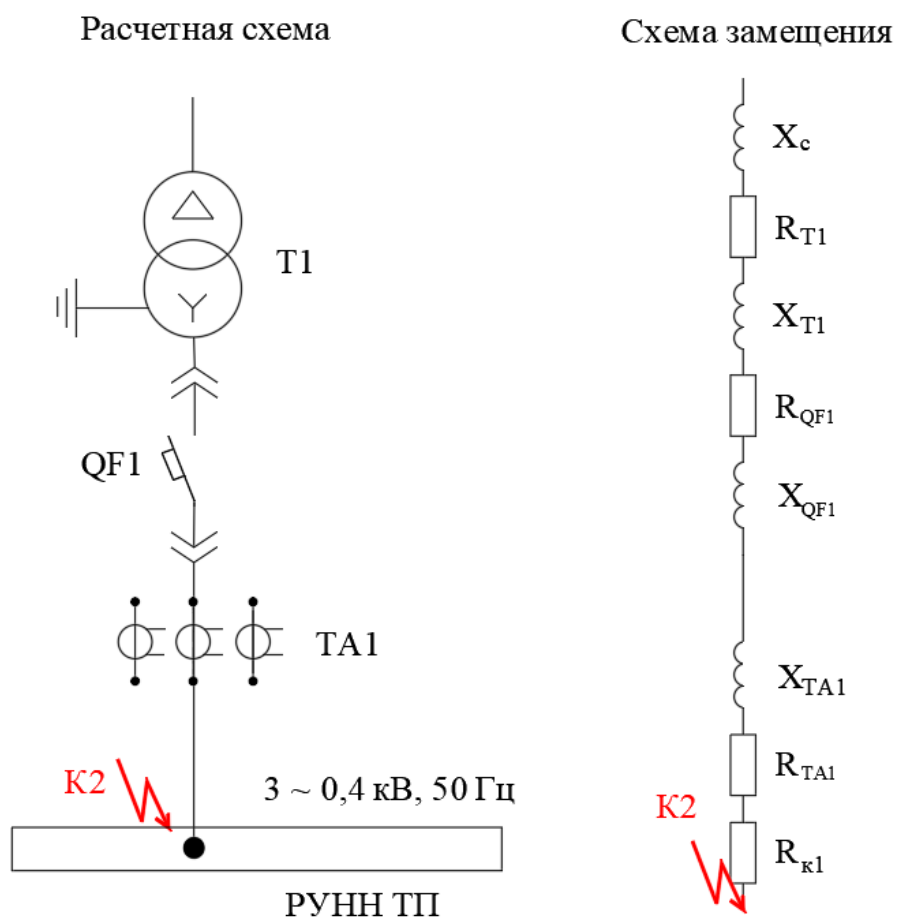


Рисунок 6 – Расчетная схема и схема замещения

«Сопротивление системы:

$$X'_c = \frac{U_\kappa}{\sqrt{3} \cdot I_{\kappa.3.K0}^{(3)}}, \quad (21)$$

где U_κ – напряжение КЗ, кВ;

$I_{\kappa.3.K0}^{(3)}$ – трехфазный ток КЗ на стороне 10 кВ ТП, кА» [17].

$$X'_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 5,19} = 1,169 \text{ Ом}.$$

Сопротивление приводится к 0,4 кВ:

$$X_c = X'_c \cdot \frac{U_{нн}}{U_{вн}}, \quad (22)$$

$$X_c = 1169 \cdot \frac{0,4}{10,5} = 44,538 \text{ мОм}.$$

Переходное сопротивление: $R_{к1} = 0,0034 \text{ мОм}$ [19].

Эквивалентные сопротивления участка:

$$R_{\text{э1}} = R_{T1} + R_{QF1} + R_{TA1} + R_{\kappa1}, \quad (23)$$

$$R_{\text{э1}} = 3,1 + 0,13 + 0,07 + 0,0034 = 3,4 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{э1}} = X_m + X_{QF1} + X_{TA1}, \quad (24)$$

$$X_{\text{э1}} = 13,6 + 0,12 + 0,07 = 13,8 \text{ мОм};$$

Сопротивления до точки КЗ:

$$R_{\kappa1} = R_{\text{э1}}, \quad (25)$$

$$\begin{aligned}
 R_{\kappa 1} &= 3,4 \text{ мОм}; \\
 X_{\kappa 1} &= X_c + X_{\kappa 1}, \\
 X_{\kappa 1} &= 44,538 + 13,8 = 58,338 \text{ мОм}; \\
 Z_{\kappa 1} &= \sqrt{3,4^2 + 58,338^2} = 58,438 \text{ мОм};
 \end{aligned}
 \tag{26}$$

Трехфазный и ударный токи КЗ в точке К1, по (18,19):

$$\begin{aligned}
 I_{\kappa 1}^{(3)} &= \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 58,438} = 3,95 \text{ кА}. \\
 i_y &= \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 3,95 = 7,26 \text{ кА}.
 \end{aligned}$$

Результаты расчетов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Токи КЗ, результаты расчетов

Точка КЗ	$I_{\kappa}^{(3)}$, кА	i_y , кА
К1 (шины 10 кВ ТП)	5,19	13,20
К2 (шины 0,4 кВ ТП)	3,95	7,26

«Термически стойкое сечение жил кабелей:

$$F_T = I_K^{(3)} \cdot \sqrt{t_3} / K_T, \tag{27}$$

где t_3 – время срабатывания защиты, с;

K_T – температурный коэффициент» [8].

$$F_T = 3950 \cdot \sqrt{0,01} / 95 = 4,15 \text{ мм}^2$$

Все выбранные кабели термически устойчивы.

2.6 Выбор оборудования защиты линий

Автоматические выключатели (АВ), или просто автоматы, являются одним из ключевых элементов современной системы защиты электрических сетей, они выполняют функцию мгновенного отключения подачи электричества при возникновении аварийных ситуаций, таких как короткое замыкание или перегрузка сети. Это позволяет предотвратить возникновение пожаров и других опасных ситуаций, связанных с электричеством. АВ широко используются как в жилых, так и в коммерческих и промышленных объектах, в жилых домах они помогают защитить бытовую технику и электронику от скачков напряжения, которые могут привести к выходу из строя оборудования. В коммерческих зданиях автоматы защищают серверные комнаты, офисы и производственные помещения, предотвращая возможные потери данных и финансовые убытки. Важным аспектом является и то, что современные АВ обладают высокой степенью защиты от перегрева и перегрузки, что делает их надежными и долговечными; они могут быть оснащены различными функциями, такими как автоматическое повторное включение (АПВ) и защита от дугового разряда, что значительно увеличивает их эффективность и безопасность. Таким образом, автоматические выключатели играют ключевую роль в обеспечении надежной и безопасной работы электрических сетей.

«Условия выбора автоматических выключателей:

– по напряжению:

$$U_{ном} > U_c, \quad (28)$$

– по току теплового расцепителя» [20]:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot I_p, \quad (29)$$

Для линии к участку №1:

$$I_{m.p.} > 1,1 \cdot 370,3 = 407,3 \text{ А.}$$

Принимается автомат ВА-52-39/500, выбор автоматических выключателей сведен в таблицу 6.

Таблица 6 – Выбор автоматических выключателей

№ цеха	$1,1 \cdot I_p$, А	Авт. выкл.	$I_{ном}$, А
1	407,3	ВА-52-39	500
2	520,3		630
3	211,9		250
4	37,6	ВА-51-35	40
5	110,9		125
6	84,9		100
7	110,9		125
8	126,4		160
9	128,1		160
10	78,3		80
11	38,4		40
12	73,9		80
ввод ГРЩ	1106,6	ВА88-43	1250

Внешний вид автоматических выключателей приведен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Автоматические выключатели

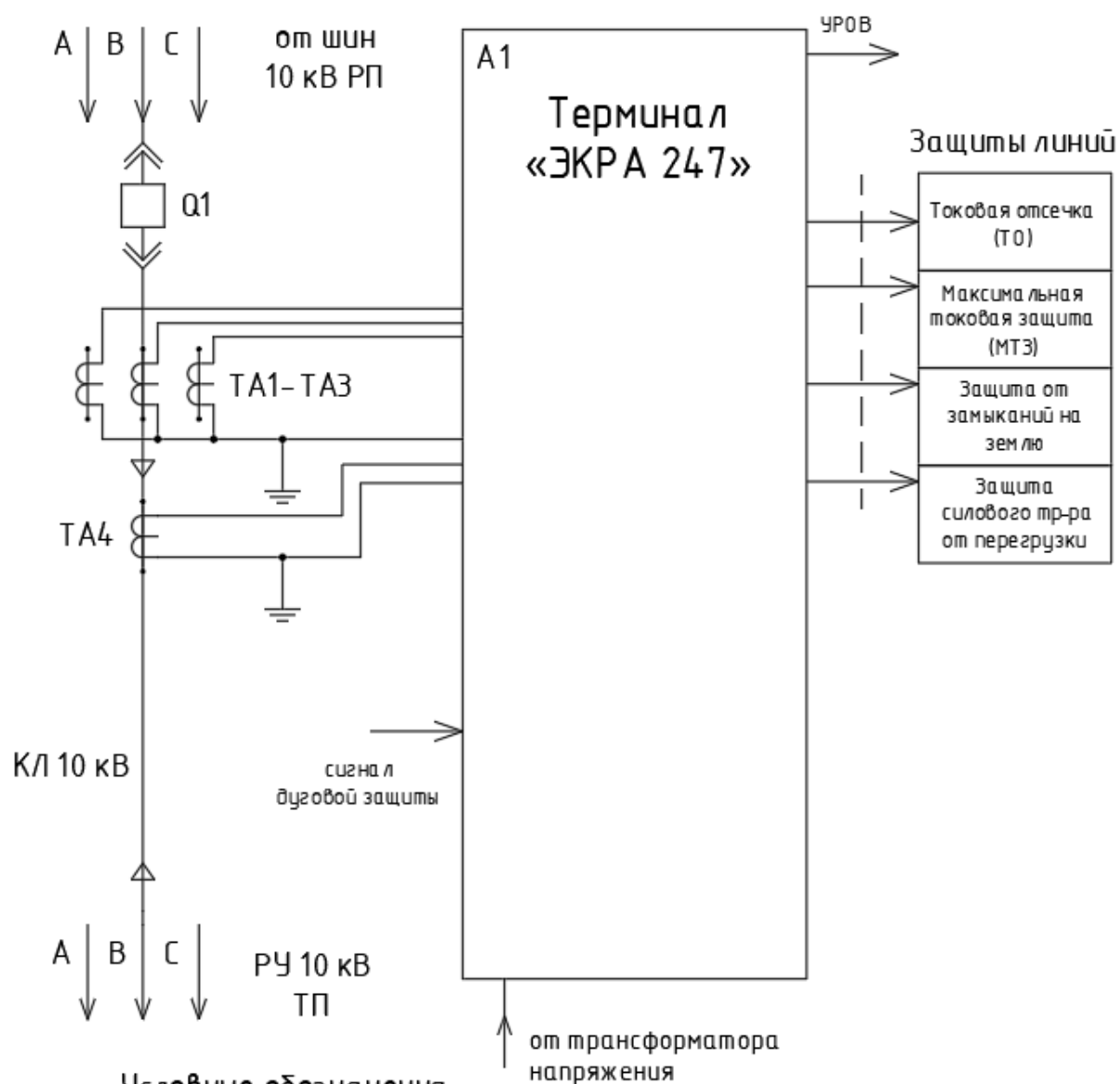
Защита питающего фидера 10 кВ.

«Микропроцессорная релейная защита (МПРЗ) фидера 10 кВ представляет собой современную систему, которая обеспечивает надежную и эффективную защиту электрических сетей от различных аварийных ситуаций» [2]. Эта система основана на использовании микропроцессоров, которые обрабатывают данные и принимают решения в реальном времени, что позволяет оперативно реагировать на любые изменения в сети. «Функции защиты включают в себя автоматическое отключение поврежденных участков сети, обнаружение и локализацию коротких замыканий, а также защиту от перегрузок и токов утечки. Микропроцессоры анализируют данные о напряжении, токе и напряжении на различных элементах сети, что позволяет точно определить место и характер аварии, это значительно снижает риск возникновения крупных аварий и обеспечивает стабильную работу электрической сети» [2]. Внедрение МПРЗ позволяет значительно повысить надежность и безопасность работы электрических сетей, современные системы защиты обладают высокой степенью интеграции с другими системами, что позволяет им работать в составе комплексной автоматизированной системы управления сетью. Это также способствует снижению эксплуатационных затрат и повышению эффективности использования энергетических ресурсов.

«Для фидера 10 кВ предусматриваются следующие виды релейных защит:

- токовая отсечка (ТО);
- максимальная токовая защита (МТЗ);
- защита от замыканий на землю (ЗНЗ);
- защита силовых трансформаторов ТП от перегрузки» [6].

Защита питающего фидера 10 кВ реализуется на терминалах ЭКРА 247, схема защиты показана на рисунке 8.



Условные обозначения

Обозн.	Наименование
Q1	Высоковольтный выключатель
ТА1-ТА3	Трансформаторы тока
ТА4	Трансформатор тока нулевой последовательности
А1	Терминал ЭКРА 247
УРОВ	Устройство резервирования отката выключателя

Рисунок 8 – Схема релейной защиты фидера 10 кВ

Внешний вид терминала показан на рисунке 9.



Рисунок 9 – Терминал ЭКРА 247

Расчет уставок защит.

«Токовая отсечка:

$$I_{C3} \geq K_{отс} \cdot I_{НОМ.Т}, \quad (30)$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки» [9].

$$I_{C3} \geq 5 \cdot 0,0206 = 0,103 \text{ кА}.$$

МТЗ:

$$I_{C3} \geq \frac{K_H \cdot K_{C3}}{K_B} \cdot I_{р.макс}, \quad (31)$$

где $I_{p.макс}$ – расчетный ток КЛ, А.

$$I_{C3} \geq \frac{1,1 \cdot 1,18}{0,935} \cdot 41,19 = 1,388 \cdot 41,19 = 57,17 \text{ А}.$$

Чувствительность защиты:

$$k_q = \frac{I_K^{(2)}}{I_{C3}}, \quad (32)$$

$$k_q = \frac{4494}{57,17} = 78,6 \geq 1,5.$$

«Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = I_{C3} \cdot \frac{k_{cx}}{n_T}, \quad (33)$$

где k_{cx} , n_T – коэффициенты схемы и трансформации для ТТ» [6].

$$I_{CP} = 57,17 \cdot \frac{1}{50/5} = 5,717 \text{ А}$$

«Ток срабатывания защиты от замыканий на землю:

$$I_{C.з.} \geq k_{отс} \cdot k_B \cdot I_C, \quad (34)$$

где $k_{отс}$, k_B – коэффициенты отстройки и броска ёмкостного тока;

I_C – ёмкостный ток присоединения, А.

$$I_C = I_{CO} \cdot L, \quad (35)$$

где I_{CO} – удельный ёмкостный ток, А/км;

L – длина КЛ, км» [6].

$$I_C = 0,55 \cdot 0,51 = 0,2805 \text{ А},$$

$$I_{C.з.} \geq 1,2 \cdot 2,5 \cdot 0,2805 = 0,8415 \text{ А}.$$

«Автоматический ввод резерва (АВР) на шинах низшего напряжения ТП необходим ввиду наличия участков первой категории надежности электроснабжения» [8].

2.7 Обеспечение бесперебойного питания, выбор оборудования АВР

«Обеспечение бесперебойного питания играет важную роль в современном мире, особенно для объектов, где остановка работы оборудования может привести к опасным ситуациям, проблемам с хранением данных и связью» [2]. Для этого используются автоматический ввод резерва (АВР), который автоматически переключает нагрузку на альтернативный источник энергии при возникновении проблем с напряжением. АВР применяются в различных областях, таких как медицина, промышленность, транспорт, жилищно-коммунальные услуги и оборона. «Оборудование, относящееся к первой категории надежности электроснабжения, обязательно должно быть оснащено блоками АВР. Принцип работы устройства заключается в автоматическом переключении нагрузки с общей сети на резервный источник питания при возникновении неполадок, после восстановления основной сети нагрузка автоматически возвращается обратно» [2].

При выборе оборудования АВР следует учитывать следующие требования:

- «возможность управления вручную с помощью удобной панели управления;

- механическая или автоматическая блокировка для предотвращения одновременного подключения двух аппаратов и параллельного соединения выводов;
- надёжное питание управляющих систем;
- удобство панели управления;
- возможность управления приоритетностью нагрузки;
- обеспечение максимальной скорости восстановления электропитания;
- наличие средств диагностики» [6].

АВР выполняется на терминале ЭКРА 217 0701, отличительные особенности которого:

- «надёжная современная схемотехника;
- высокое быстродействие;
- точная программная настройка АВР;
- эффективная передача данных в цифровую сеть;
- удаленные контроль и администрирование работы» [21].

Внешний вид терминала представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Внешний вид терминала ЭКРА 217 0701

«АВР устанавливается на шинах 0,4 кВ подстанции и обеспечивает централизованный автоматический ввод резерва питания. Для обеспечения дистанционного управления и контроля состояния, вводные и секционный автоматические выключатели на вводе 0,4 кВ и секционной перемычке выбираются с электромагнитным приводом» [9].

«Уставка срабатывания АВР:

$$U_{C.P} = 0,7 \cdot U_{НОМ}, \quad (36)$$

где $U_{НОМ}$ – напряжение сети, В» [2].

$$U_{C.P0,4} = 0,7 \cdot 380 = 266 \text{ В.}$$

Уставка контроля напряжения на резервном вводе:

$$U_{C.P} = (0,6 \div 0,65) \cdot U_{НОМ}, \quad (37)$$

$$U_{C.P0,4} = (0,6 \div 0,65) \cdot 380 = 228 \div 247 \text{ В.}$$

«Время срабатывания:

$$t_{C.P.ABP} = t_1 + \Delta t, \quad (38)$$

где t_1 – время срабатывания выключателей, с;

Δt – степень селективности, с» [2].

$$t_{C.P.ABP} = 0,05 + 0,5 = 0,55 \text{ с.}$$

«Программное обеспечение для релейной защиты и автоматики включает в себя различные программы и приложения, которые используются для настройки, управления и мониторинга систем РЗА» [21].

2.8 Расчет заземляющего устройства подстанции

«Система заземления подстанции играет ключевую роль в обеспечении безопасности и надёжности работы трансформаторной подстанции» [18]. Она состоит из внутреннего и внешнего контуров заземления, а также молниезащиты и вспомогательных элементов. Внутренний заземляющий контур прокладывается в каждом помещении подстанции и соединяет все части оборудования, не находящиеся под напряжением, такие как мосты, шины, крепления барьеров и люки. Внешний контур заземления представляет собой совокупность электродов, соединённых с замкнутым горизонтальным заземлителем. Молниезащита обязательна для зданий с металлической кровлей и основана на соединении с наружным контуром заземления, проводники диаметром от 8 мм устанавливаются на крыше строения или вводятся в здание подстанции. Основные требования к заземлению трансформаторной подстанции указаны в ПУЭ (Правила устройства электроустановок), сопротивление заземляющего контура не должно превышать 4 Ом для ТП 10/0,4 кВ [16]. При проектировании и монтаже системы заземления учитываются параметры грунта, здания и его конструктивные особенности. Бригада специалистов обеспечивает доставку всех компонентов и монтаж заземляющего устройства (ЗУ), используя надёжные комплектующие и антикоррозийное покрытие.

Размеры, материал и форма электродов выбираются согласно указаниям ГОСТ Р 58882-2020:

- для вертикальных электродов: сталь угловая горячекатаная, размер 3000×50×5 мм;
- для горизонтального электрода: сталь полосовая горячекатаная, размер 50×5 мм.

«Удельное сопротивление грунта для вертикальных (ВЭ) и горизонтальных (ГЭ) электродов:

$$\rho_p = \rho \cdot K_c, \quad (39)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

K_c – коэффициент сезонности» [1].

$$\rho_{p6} = 2000 \cdot 1,1 = 2200 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$\rho_{p2} = 2000 \cdot 1,4 = 2800 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

«Сопротивление растеканию для одного ВЭ:

$$R_{\text{вэ}} = \frac{\rho_{p6}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right], \quad (40)$$

где l – длина, м;

d – приведенный диаметр, м;

t – расстояние от поверхности до центра ВЭ, м.

$$d = 0,95 \cdot b, \quad (41)$$

где b – ширина уголка, м» [1].

$$d = 0,95 \cdot 0,05 = 0,0475 \text{ м},$$

$$t = 3 / 2 + 0,8 = 2,3 \text{ м},$$

$$R_{\text{вэ}} = \frac{2200}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 3}{0,0475} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) \right] = 60,962 \text{ Ом}.$$

Расчетное число ВЭ:

$$n' = R_{\text{вэ}} / R_n, \quad (42)$$

где R_n – допустимое сопротивление ЗУ, Ом.

$$n' = 60,962 / 4 = 15,2 \approx 16 \text{ шт}$$

Длина ГЭ:

$$l_z = 1,05 \cdot a \cdot n', \quad (43)$$

где a – расстояние между ВЭ, м.

$$a = l_{\text{пер}} / n', \quad (44)$$

где $l_{\text{пер}}$ – периметр здания ТП, м.

$$l_{\text{пер}} = 2 \cdot (9,97 + 7,62) = 35,18 \text{ м},$$

$$a = 35,18 / 16 = 2,2 \text{ м},$$

$$l_z = 1,05 \cdot 2,2 \cdot 16 = 36,96 \text{ м}.$$

«Сопротивление растеканию ГЭ:

$$R_{\text{эз}} = \frac{\rho_{\text{pz}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left(\frac{l^2}{d \cdot t} \right), \quad (45)$$

где l – длина, м;

d – расчетный диаметр, м;

t – расстояние от поверхности до центра ГЭ, м.

$$d = 0,5 \cdot b, \quad (46)$$

где b – ширина полосы, м» [1].

$$d = 0,5 \cdot 0,05 = 0,025 \text{ м},$$

$$t = 0,05 / 2 + 0,8 = 0,825 \text{ м},$$

$$R_{\Sigma} = \frac{2800}{2 \cdot 3,14 \cdot 36,96} \cdot \ln \left(\frac{36,96^2}{0,025 \cdot 0,825} \right) = 2,757 \text{ Ом.}$$

Схема заземления ТП представлена на рисунке 11.

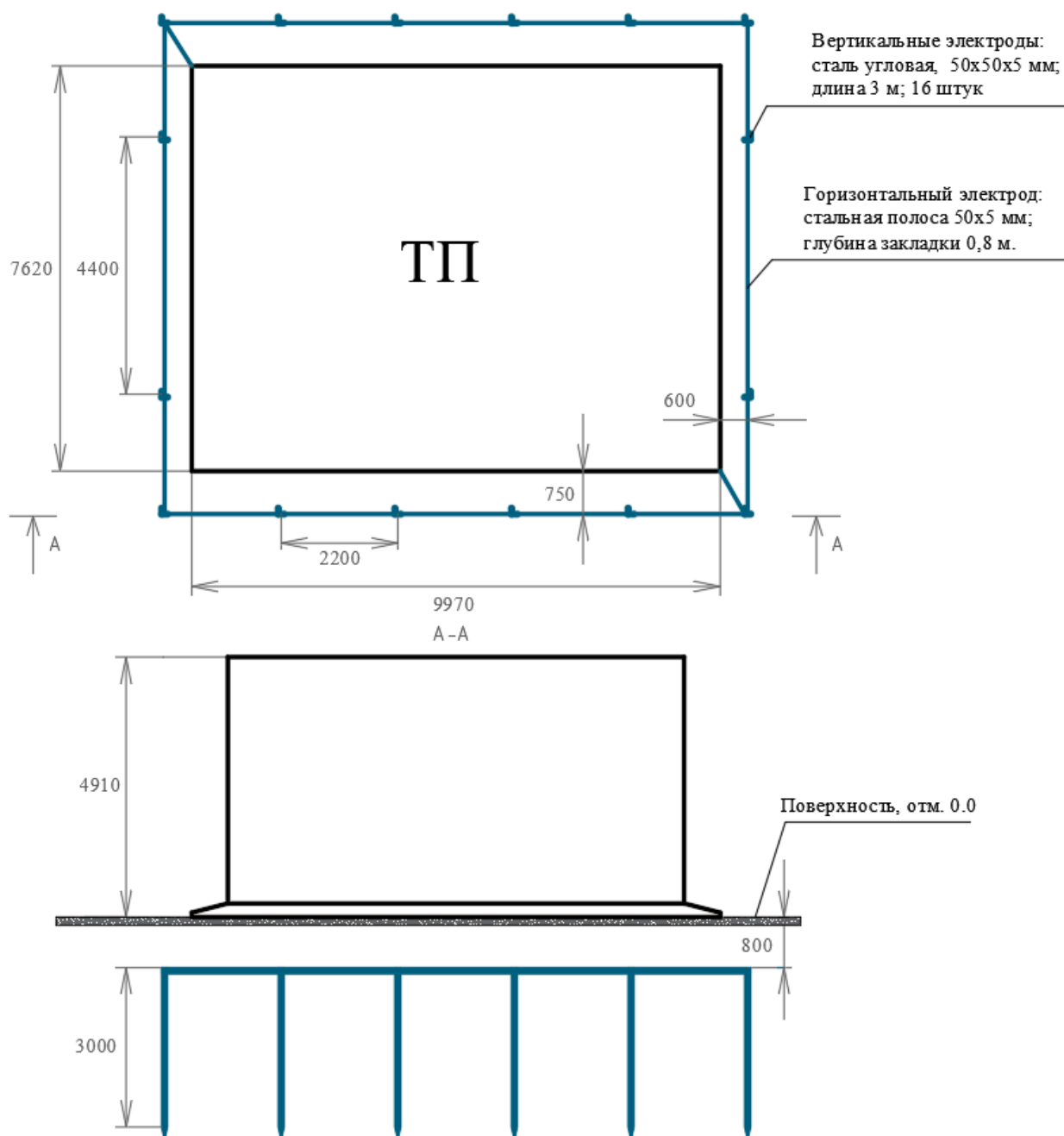


Рисунок 11 – Схема заземления ТП

Итого сопротивление ЗУ:

$$R_{zp} = \frac{R_{огз} \cdot R_{гэ}}{R_{огз} \cdot \eta_{г} \cdot n + R_{гэ} \cdot \eta_{г}}, \quad (47)$$

где $\eta_{г}$, $\eta_{гэ}$ – коэффициенты использования ВЭ и ГЭ.

$$R_{zp} = \frac{60,962 \cdot 2,757}{60,962 \cdot 0,51 \cdot 16 + 2,757 \cdot 0,3} = 3,792 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}.$$

Сопротивление не будет превышать допустимое.

Схема заложения электродов показана на рисунке 12.

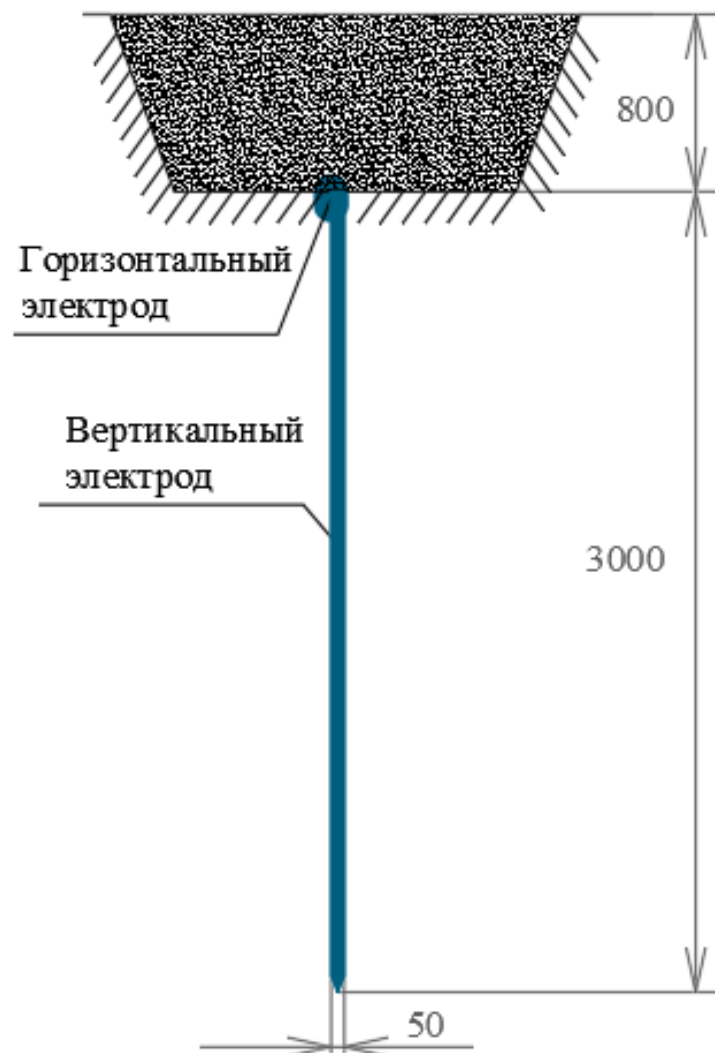


Рисунок 12 – Схема заложения электродов

Система заземления ТП обеспечивает безопасную эксплуатацию системы электроснабжения.

«Монтаж заземляющего устройства подстанции – важный этап в обеспечении безопасности и надёжности работы электрической системы, ЗУ предназначено для отвода токов короткого замыкания и выравнивания потенциалов на территории подстанции» [15]. Процесс монтажа начинается с разработки проекта ЗУ, который учитывает размеры подстанции, тип грунта и климатические условия, затем проводятся земляные работы: выкапываются траншеи для прокладки горизонтальных заземлителей и вертикальных электродов. Вертикальные заземлители из угловой стали забиваются в грунт с помощью механизмов, таких как копер, горизонтальные заземлители укладываются в траншею, все соединения заземлителей выполняются сваркой внахлестку с последующей обработкой битумом для предотвращения коррозии. После монтажа заземлителей составляется акт на скрытые работы и наносятся привязки заземляющих устройств к стационарным ориентирам, затем траншеи засыпаются грунтом без камней и строительного мусора, который трамбуется. В процессе монтажа необходимо соблюдать требования нормативных документов и обеспечивать надёжное соединение всех элементов заземляющей системы [13].

«В данном случае подстанция имеет полностью металлический корпус, надёжно защищенный от атмосферных осадков и соединенный с заземляющим устройством. Согласно указаниям ПУЭ, в данном случае дополнительные меры по молниезащите не нужны» [18].

Выводы по разделу 2. Определены ожидаемые среднесменные электрические нагрузки производственных участков и по базе в целом. Определены токи рабочих и аварийных режимов электрической сети. По соответствующим техническим параметрам выбрано современное электрооборудование. Спроектировано заземляющее устройство подстанции.

Заключение

В связи с постоянным ростом объемов выполняемых работ, для предприятия МУП «КОС», г. Норильск будет построена новая производственная база по очистке и обработке сточных вод, на которой также будет проводиться неотложный ремонт различных элементов и деталей промышленного оборудования. На данном объекте будет установлено большое число единиц промышленного оборудования, требующего обязательного питания электрической энергией, в связи с этим разработка и реализация качественной и надежной системы электроснабжения является обязательным условием для функционирования производственной базы.

Выявлены ключевые недостатки СЭС действующей производственной базы, которые будут учтены при разработке СЭС новой производственной базы.

Выполнено проектирование системы электроснабжения производственной базы. Определены расчетные электрические нагрузки производственных участков и базы в целом. Определены токи рабочих и аварийных режимов электрической сети. По соответствующим техническим параметрам выбрано современное электрооборудование. Компенсация реактивной мощности будет производиться на шинах 0,4 кВ подстанции и снизит нагрузку на силовые трансформаторы. На шинах НН подстанции будет установлено две автоматические установки АУКРМ по 62,5 квар. На подстанции принимается два энергоэффективных трансформатора марки ТМГ33 ХЗК2-630-10/0,4. Для линий СЭС выбраны кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, представляющие собой современное решение, которое сочетает в себе высокую надежность, долговечность и экологичность.

Выбраны современные терминалы микропроцессорной РЗА. Защита питающего фидера 10 кВ реализуется на терминалах ЭКРА 247, АВР на шинах 0,4 кВ подстанции производственной базы

выполняется на терминале ЭКРА 217 0701. Микропроцессорная релейная защита представляет собой современную систему, которая обеспечивает надежную и эффективную защиту электрических сетей от различных аварийных ситуаций. Эта система основана на использовании микропроцессоров, которые обрабатывают данные и принимают решения в реальном времени, что позволяет оперативно реагировать на любые изменения в сети. Функции защиты включают в себя автоматическое отключение поврежденных участков сети, обнаружение и локализацию коротких замыканий, а также защиту от перегрузок и токов утечки. Преимущества микропроцессорной релейной защиты включают улучшенные показатели быстродействия, чувствительности и надёжности; наличие множества сервисных функций; возможность интеграции в автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУТП) базы.

Выполнен расчет заземляющего устройства подстанции, монтаж которого обеспечит надежную работу СЭС и надлежащий уровень электробезопасности.

Реализация предложенного проекта СЭС производственной базы обеспечит ее надежное, эффективное и безопасное электроснабжение.

Список используемых источников

1. Анчарова Т. В., Рашевская М. А., Стебунова Е. Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. 415 с.
2. Бирюлин В. И., Куделина Д. В. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
3. Бирюлин В. И., Куделина Д. В. Электроснабжение промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 204 с.
4. Голов Р. С. Управление энергосбережением на промышленном предприятии : монография. М. : Дашков и К, 2023. 458 с.
5. Головатый С. Е., Пашинский В. А. Охрана окружающей среды и энергосбережение : учебное пособие. Минск : РИПО, 2021. 304 с.
6. Горемыкин С. А. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2024. 191 с.
7. Грунтович Н. В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2020. 271 с.
8. Иванов С. Н., Скрипилев А. А. Надежность электроснабжения : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
9. Куксин А. В. Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 200 с.
10. Куксин А. В. Электроснабжение промышленных предприятий : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
11. МУП «КОС». [Электронный ресурс] : URL: <http://mupkosnorilsk.ru/> (дата обращения: 12.10.2024).
12. Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов : учебное пособие. М. : Форум, 2024. 416 с.

13. Пасютина О. В. Охрана труда при технической эксплуатации электрооборудования : учебное пособие. 4-е изд., стер. Минск : РИПО, 2021. 115 с.
14. Петухов Р. А., Сизганова Е. Ю., Синенко Л. С. Электроснабжение : учебное пособие. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. 328 с.
15. Полуянович Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий : учебник для вузов. Специальная литература. СПб. : Лань, 2023. 396 с.
16. Правила устройства электроустановок: действующие разделы 6-го и 7-го изданий. М. : НИЦ ИНФРА-М, 2024. 828 с.
17. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М. : Издательство НЦ ЭНАС, 2002. 149 с.
18. Сибикин Ю. Д. Охрана труда и электробезопасность : учебное пособие. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 312 с.
19. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования : учебное пособие. 3-е изд., испр. М. : ИНФРА-М, 2024. 214 с.
20. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. Электрические аппараты : учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2024. 303 с.
21. ЭКРА. [Электронный ресурс] : URL: <https://ekra.ru/> (дата обращения: 12.09.2024).