

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 Электроснабжение базы строительных материалов ООО «Строй Синергия» в
г. Краснодар

Обучающийся

В.С. Доценко

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Тольятти 2023

Аннотация

Рассматривается электроснабжение базы строительных материалов ООО «Строй Синергия» в г. Краснодар.

Актуальность темы ВКР обусловлена необходимостью ввода в эксплуатацию новой строящейся базы строительных материалов, производственные участки которой требуется обеспечить надежным и качественным электроснабжением. Также результаты работы могут быть применены при проектировании систем электроснабжения других подобных промышленных и прочих объектов. В целом, вопросы разработки СЭС объектов предприятий являются актуальными и востребованными.

Содержание работы включает вопросы: анализ исходных данных по электроснабжению потребителей и предприятию, расчет электрических нагрузок, выбор и расчет числа и мощности трансформаторов, расчет токов короткого замыкания, выбор кабелей распределительной сети и аппаратов защиты линий, выбор основного электрооборудования подстанции и его проверку, выбор устройств релейной защиты и автоматики, расчет заземления и молниезащиты подстанции.

Выпускная квалифицированная работа состоит из 46 страниц, 16 рисунков, 5 таблиц, 20 источников.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей и предприятию	6
1.1 Характеристика предприятия	6
1.2 Характеристика базы строительных материалов	7
2 Расчет электрических нагрузок	10
3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов.....	12
4 Расчет токов короткого замыкания	16
5 Выбор кабелей распределительной сети и аппаратов защиты линий	21
6 Выбор основного электрооборудования подстанции и его проверка	25
7 Выбор устройств релейной защиты и автоматики	33
8 Расчет заземления и молниезащиты подстанции	38
Заключение	43
Список используемых источников.....	45

Введение

Система электроснабжения (СЭС) предприятия – это система, обеспечивающая прием, передачу и распределение электроэнергии на предприятии. Основные элементы системы электроснабжения включают источники электроэнергии (например, электростанции), линии электропередачи, трансформаторные подстанции, распределительные сети и конечные потребители электроэнергии (оборудование и устройства).

Основная цель электроснабжения предприятия - обеспечение надежного и качественного энергоснабжения всех потребителей, с учетом их требований к параметрам электроэнергии (напряжение, частота, мощность и т.д.). Также СЭС должна быть безопасной, экономичной и соответствовать экологическим требованиям.

При проектировании и эксплуатации СЭС предприятий необходимо учитывать множество факторов, таких как тип производства, требования к качеству электроэнергии, особенности технологического процесса, климатические условия, экологическое законодательство и т. д.

В зависимости от особенностей предприятия могут использоваться различные СЭС, например, централизованные или децентрализованные, с использованием постоянного или переменного тока, с применением различных видов изоляции и т. п.

На крупных предприятиях, как правило, используются комплексные СЭС с большим количеством потребителей и сложной структурой. В таких системах необходимо обеспечивать оптимальное распределение электроэнергии между различными потребителями, а также минимизировать потери электроэнергии при передаче и распределении.

В данной работе рассматривается электроснабжение базы строительных материалов ООО «Строй Синергия» в г. Краснодар.

Актуальность темы ВКР обусловлена необходимостью ввода в эксплуатацию новой строящейся базы строительных материалов,

производственные участки которой требуется обеспечить надежным и качественным электроснабжением. Также результаты работы могут быть применены при проектировании систем электроснабжения других подобных промышленных и прочих объектов. В целом, вопросы разработки СЭС объектов предприятий являются актуальными и востребованными.

Объект исследования: база строительных материалов.

Предмет исследования: электроснабжение базы строительных материалов.

Цель работы: проектирование качественного и надежного электроснабжения базы предприятия.

Задачи работы:

- выполнить анализ исходных данных по электроснабжению потребителей и предприятию;
- провести расчет электрических нагрузок производственных участков и базы в целом;
- провести выбор и расчет числа и мощности силовых трансформаторов подстанции;
- провести расчет токов короткого замыкания;
- выбрать кабели распределительной сети и аппараты защиты линий;
- провести выбор основного электрооборудования подстанции и его проверку;
- выбрать устройства релейной защиты и автоматики;
- выполнить расчет заземления и молниезащиты подстанции.

Практическая значимость работы состоит в последующей реализации проекта электроснабжения базы строительных материалов ООО «Строй Синергия» в г. Краснодар. Надежное и качественное электроснабжение базы обеспечит ее успешные ввод в эксплуатацию и функционирование в течение длительного времени.

1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей и предприятию

1.1 Характеристика предприятия

ООО «Строй Синергия» – микропредприятие в г. Краснодар, основной деятельностью которого является строительство жилых и нежилых зданий.

Деятельность предприятия предполагает большой объем работ с различными строительными материалами:

- древесными изделиями и заготовками;
- строительной арматурой различного назначения и другими типами металлопроката;
- пиломатериалами;
- кирпичной продукцией;
- различными типами блоков из легкого бетона (газобетона, арболита, полистиролбетона, керамзитбетона и т.д.);
- железобетонными плитами;
- железобетонными заготовками;
- цементом;
- отделочными материалами;
- строительными смесями и т.д.),

Производственный процесс предприятия включает складирование и длительное хранение, обработку и заготовку строительных материалов и заготовок из них. В связи с увеличением объемов производимых работ, а также для упрощения и удешевления общего производственного процесса, в настоящее время предприятием строится собственная база строительных материалов (БСМ) для которой необходимо спроектировать систему электроснабжения. Ввод в эксплуатацию новой базы строительных

материалов позволит предприятию существенно упростить логистику и сократить связанные с ней денежные и трудовые затраты.

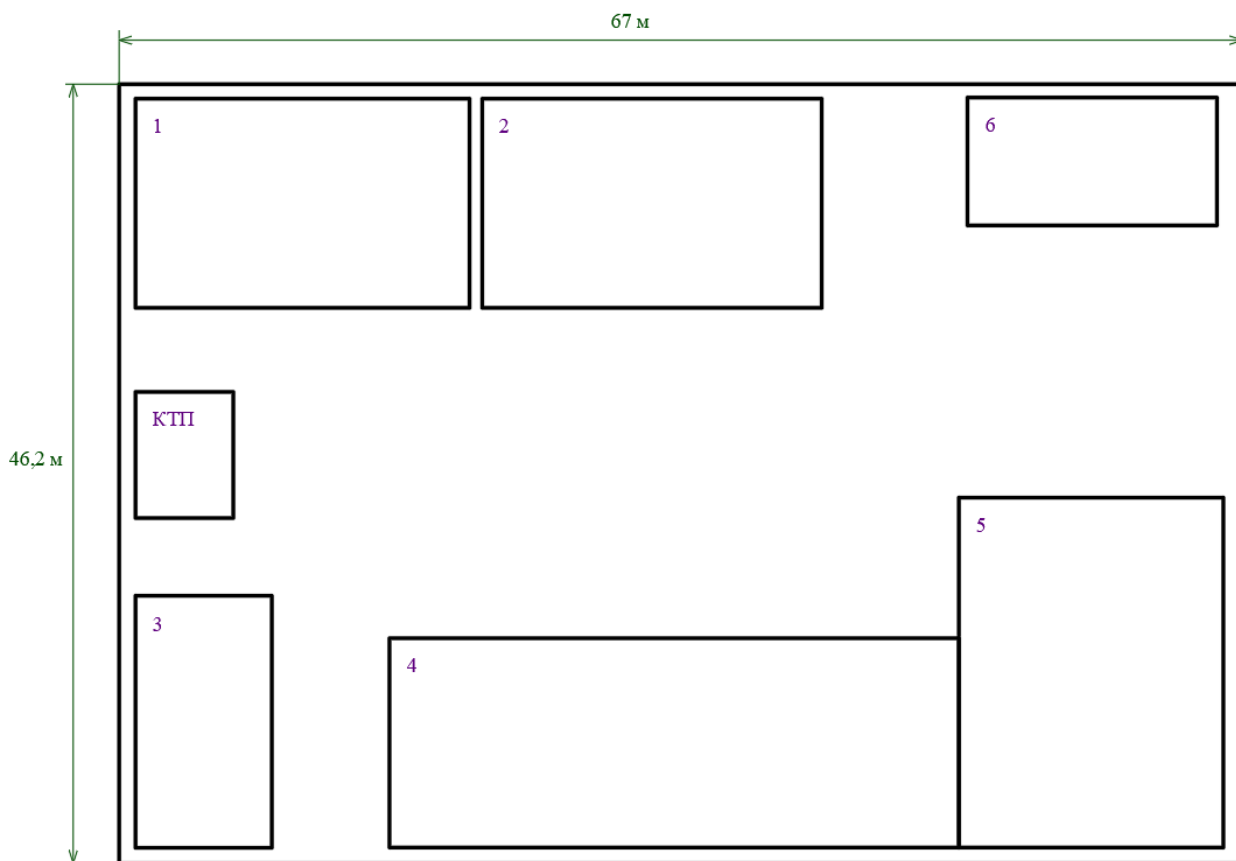
1.2 Характеристика базы строительных материалов

Строящаяся база строительных материалов представляет собой огороженную железобетонным забором территорию, на которой расположены производственные цеха и дополнительные вспомогательные здания.

Производственные участки базы строительных материалов:

- склад №1 (складирование и хранение изделий и материалов из дерева и продукции деревообработки);
- склад №2 (складирование и хранение изделий и материалов из бетона и железобетона, строительных смесей, цемента и цементных добавок);
- котельная (обеспечивает отопление производственных участков, а также их снабжение горячей и подогретой водой и технологическим паром);
- цех деревообработки и заготовки (производится обработка различного древесного сырья и изготовление необходимых заготовок);
- цех бетонных изделий и строительных смесей (производится изготовление строительного бетона различных марок, различных бетонных и железобетонных изделий, приготовление различных строительных смесей в больших объемах);
- административное здание (обеспечивается общее управление производственными процессами, ведется административно-хозяйственная работа).

Генеральный план базы показан на рисунке 1.



1 – склад №1; 2 – склад №2; 3 – котельная; 4 – цех деревообработки и заготовки; 5 – цех бетонных изделий и строительных смесей; 6 – административное здание

Рисунок 1 – Генеральный план базы

По требованиям к надежности обеспечения электроснабжением, производственные участки разделяются по трем категориям надежности электроснабжения, согласно указаниям Правил устройства электроустановок (ПУЭ):

- первая категория (котельная, перерывы электроснабжения чреваты полной остановкой всего технологического процесса, значительным экономическим ущербом);
- вторая категория (цех деревообработки и заготовки, цех бетонных изделий и строительных смесей, перерывы электроснабжения чреваты локальной остановкой технологического процесса, выраженным экономическим ущербом);

- третья категория (склады, административное здание, перерывы электроснабжения не вызовут существенных негативных последствий).

Потребители электроэнергии на производственных участках – трехфазные и однофазные электроприемники напряжением питания 380 В и 220 В. Питание участков будет выполнено от трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ, место расположения которой, согласно проектной документации, указано на рисунке 1 (в западной части территории). Подстанция будет питаться от подстанции (ПС) энергосистемы 110/10 кВ по кабельной линии (КЛ) напряжением 10 кВ длиной 565 м, марка кабелей – АПВП-3×16. Электрические нагрузки участков и их параметры электропотребления (коэффициенты спроса активной нагрузки и коэффициенты мощности) – в таблице 1.

Таблица 1 – Электрические нагрузки производственных участков

№ на плане	Участки	Рн, кВт	Кс	cosφ
1	Склад №1	32,1	0,3	0,89
2	Склад №2	25,6	0,3	0,9
3	Котельная	19,8	0,8	0,85
4	Цех деревообработки и заготовки	414	0,7	0,83
5	Цех бетонных изделий и строительных смесей	360	0,7	0,81
6	Административное здание	28	0,5	0,91

Выводы.

Приведена характеристика предприятия, систематизированы исходные данные по электроснабжению базы строительных материалов ООО «Строй Синергия» в г. Краснодар, согласно проектной документации составлен генеральный план базы. Рассмотрены требования к надежности обеспечения электроснабжением производственных участков.

2 Расчет электрических нагрузок

Электрические нагрузки рассчитываются для определения необходимой мощности системы электроснабжения, выбора оборудования. Оборудование выбирается исходя из рассчитанных мощностей и токов, а также условий эксплуатации. Кабели выбираются исходя из расчетных токов, длины и условий прокладки [2,5]. «Формулы для расчета среднесменных активных, реактивных и полных нагрузок участков:

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

где K_c – коэффициент спроса нагрузки;

$P_{ном}$ – номинальная нагрузка, кВт» [6,17].

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

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

Расчетный коэффициент мощности (тангенс угла φ):

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}. \quad (4)$$

Нагрузки склада №1, по (1-4):

$$P_c = 0,3 \cdot 32,1 = 9,63 \text{ кВт},$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - 0,89^2}}{0,89} = 0,51,$$

$$Q_c = 9,63 \cdot 0,51 = 4,93 \text{ квар},$$

$$S_c = \sqrt{9,63^2 + 4,93^2} = 10,82 \text{ кВА}.$$

Нагрузки ТП рассчитаны в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет нагрузок ТП

Участки	tgφ	Средние нагрузки		
		Pс, кВт	Qс, квар	Sc, кВА
Склад №1	0,51	9,63	4,93	10,82
Склад №2	0,48	7,68	3,72	8,53
Котельная	0,62	15,84	9,82	18,64
Цех деревообработки и заготовки	0,67	289,8	194,75	349,16
Цех бетонных изделий и строительных смесей	0,72	252	182,44	311,11
Административное здание	0,46	14	6,38	15,38
Σ	0,68	588,95	402,04	713,09

Электрические нагрузки, в основном сосредоточены в производственных цехах (349,16 кВА для цеха деревообработки и заготовки и 311,11 кВА для цеха бетонных изделий и строительных смесей). Значительную долю составляет реактивная нагрузка, что обусловлено большим числом электроприемников с низким коэффициентом мощности, таких как мощные асинхронные электродвигатели электроприводов станочного оборудования, вентиляторов, насосов, компрессоров и другого оборудования. Освещение территории базы строительных материалов будет реализовано автономное, со светодиодными светильниками на солнечных батареях, его нагрузки не входят в общие нагрузки трансформаторной подстанции.

Выводы.

Определены ожидаемые среднесменные нагрузки производственных участков, которые составили от 8,53 кВА до 349,16 кВА. В целом по базе ожидаемые среднесменные нагрузки составили 588,95 кВт, 402,04 квар, 713,09 кВА. Далее согласно данным нагрузкам проектируется СЭС базы.

3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов

На стороне 0,4 кВ подстанции выполняется компенсация реактивной мощности (КРМ). КРМ применяется для снижения потерь электроэнергии и улучшения качества электроэнергии в электрических сетях. Это достигается за счет установки устройств, которые генерируют реактивную мощность, например, конденсаторных батарей. КРМ позволяет снизить нагрузку на оборудование, уменьшить потери напряжения и улучшить устойчивость системы, снизить затраты на электроэнергию за счет уменьшения потерь и улучшения эффективности использования оборудования. Предлагается установить две автоматические установки серии АУКРМ, по одной на каждую секцию шин 0,4 кВ ТП. Внешний вид АУКРМ – на рисунке 2.



Рисунок 2 – Установка АУКРМ

«Необходимая для компенсации реактивная нагрузка:

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot P_p \cdot (tg\varphi - tg\varphi_k), \quad (5)$$

где P_p – активная нагрузка, кВт;

$tg\varphi$, $tg\varphi_k$ – тангенс угла φ до КРМ и его нормативное значение.

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot 588,95 \cdot (0,68 - 0,33) = 186,9 \text{ квар.}$$

Принимается две установки АУКРМ-0,4-95 квар» [12].

Реактивная нагрузка после КРМ:

$$Q_{сКРМ} = Q_c - Q_{КУ}, \quad (6)$$

где $Q_{КУ}$ – мощность АУКРМ, квар.

$$Q_{сКРМ} = 402,4 - 2 \cdot 95 = 212,04 \text{ квар.}$$

Полная нагрузка ТП после КРМ, по (3):

$$S_{сКРМ} = \sqrt{588,95^2 + 212,04^2} = 625,96 \text{ кВА.}$$

Потери в трансформаторах:

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot S_{сКРМ}, \quad (7)$$

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot 625,96 = 12,52 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot S_{сКРМ}, \quad (8)$$

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot 625,96 = 62,6 \text{ квар.}$$

Нагрузка линии 10 кВ до ТП, по (3):

$$S'_p = \sqrt{(588,95 + 12,52)^2 + (402,04 - 2 \cdot 95 + 62,6)^2} = 661,2 \text{ кВА.}$$

Ввиду наличия потребителей первой и второй категории, согласно

ПУЭ, на ТП будет установлено два силовых трансформатора, предлагается использовать энергосберегающую марку ТМГ35.

«Требуемая мощность трансформаторов:

$$S_m \geq K_{з.н.} \cdot S_{р.к.}, \quad (9)$$

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

$S_{р.к.}$ – нагрузка после КРМ, кВА» [4,7].

$$S_m \geq 0,7 \cdot 625,96 = 438,2 \text{ кВА.}$$

Будет установлено два трансформатора ТМГ35-630, внешний вид показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Силовой трансформатор ТМГ35-630

Трансформаторы ТМГ35 масляные герметичные трехфазные предназначены для преобразования электроэнергии в сетях напряжением до 10 кВ. Они используются в системах электроснабжения промышленных предприятий, коммунальных и бытовых объектов.

Трансформаторы ТМГ35 имеют ряд преимуществ перед другими

типами трансформаторов:

- герметичность конструкции обеспечивает высокую надежность и долговечность оборудования, а также снижает затраты на обслуживание;
- использование высококачественных материалов и технологий при изготовлении трансформаторов обеспечивает высокую эффективность и экономичность их работы;
- компактные размеры и небольшой вес трансформаторов позволяют легко монтировать их в различных условиях и экономить пространство;
- широкий диапазон рабочих температур позволяет использовать трансформаторы в различных климатических условиях.

«Аварийная загрузка составит:

$$K_{з.ав.} = \frac{S_{р.к.}}{S_m} \cdot 100 \%, \quad (10)$$

где S_m – номинальная мощность, кВА» [14].

$$K_{з.ав.} = \frac{625,96}{630} \cdot 100 \% = 99 \% \leq 140 \%$$

Трансформатор не будет перегружен.

Выводы.

Согласно рассчитанным электрическим нагрузкам базы рассчитана компенсация реактивной мощности, выбраны две установки АУКРМ-0,4-95 по 95 квар, автоматические изменяющие уровень КРМ в зависимости от текущего коэффициента мощности сети. Для установки на ТП выбраны энергосберегающие трансформаторы марки ТМГ35-630, которые обеспечат экономию электроэнергии и высокий КПД работы подстанции.

4 Расчет токов короткого замыкания

Расчёт токов короткого замыкания (КЗ) производится для выбора и проверки электрооборудования, проводников, аппаратов и других элементов электроустановок, а также для определения влияния параметров электрической сети на режим короткого замыкания. Этот расчёт позволяет определить максимальные токи, которые могут возникнуть в системе при коротком замыкании, а также проверить правильность выбора оборудования и проводников [10]. Расчетные схемы – на рисунке 4.

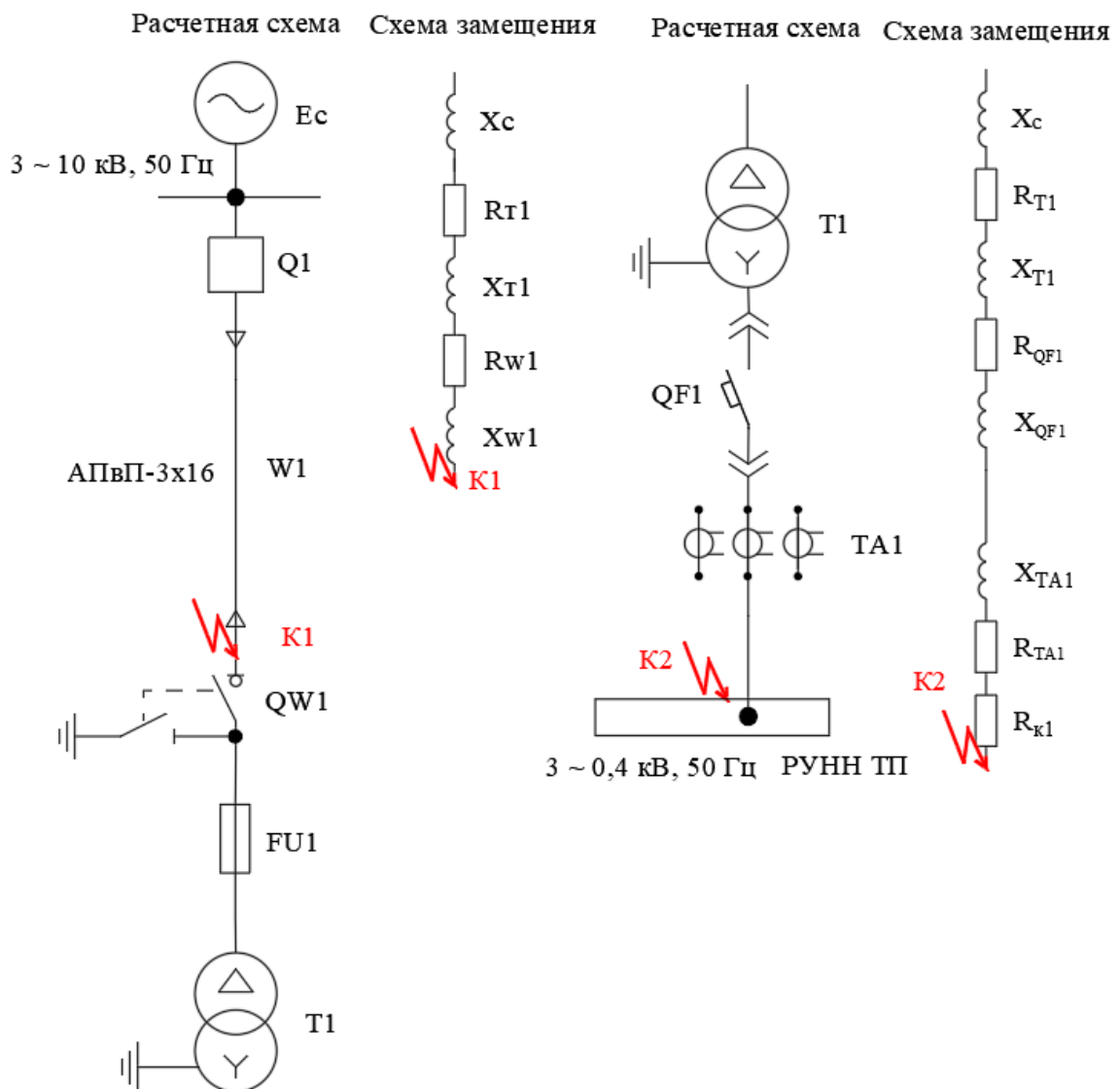


Рисунок 4 – Расчетные схемы

Результатом расчёта токов короткого замыкания является определение максимальных токов, которые могут возникнуть при коротком замыкании на данном участке, например, при различных видах повреждений линий электропередачи.

«Расчет на шинах 10 кВ ТП, точка К1.

Находятся сопротивления участков.

Трёхфазный ток КЗ в начале КЛ 10 кВ (фидер 10 кВ ПС энергосистемы): $I_{к.з.ПС}^{(3)} = 11,1$ кА.

Сопротивление системы:

$$X_c = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot I_{к.з.ПС}^{(3)}}, \quad (11)$$

где U_k – напряжение КЗ, кВ» [11].

$$X_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 11,1} = 0,546 \text{ Ом.}$$

«Сопротивления КЛ 10 кВ:

$$X_{wl} = x_0 \cdot L_{wl}, \quad (12)$$

где L_{wl} – длина КЛ, км.

$$X_{wl} = 0,102 \cdot 0,565 = 0,058 \text{ Ом,}$$

$$R_{wl} = r_0 \cdot L_{wl}, \quad (13)$$

$$R'_{wl} = 1,94 \cdot 0,565 = 1,096 \text{ Ом.}$$

«Полное сопротивление до точки К1» [15]:

$$Z_{\kappa 0} = \sqrt{R_{\kappa 0}^2 + X_{\kappa 0}^2}, \quad (14)$$

$$Z_{\kappa 0} = \sqrt{1,096^2 + (0,546 + 0,058)^2} = 1,251 \text{ Ом.}$$

«Трехфазный ток КЗ:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{\kappa}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\kappa}}, \quad (15)$$

где U_{κ} – напряжение КЗ, кВ;

Z_{κ} – полное сопротивление цепи, Ом.

$$I_{\kappa 0}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,251} = 4,84 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (16)$$

где K_y – ударный коэффициент» [15].

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,84 = 12,33 \text{ кА.}$$

«Двухфазный ток КЗ:

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (17)$$

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,84 = 3,25 \text{ кА.}$$

Расчет на шинах 0,4 кВ ТП, точка К2.

Сопротивление системы:

$$X'_c = \frac{U_\kappa}{\sqrt{3} \cdot I_{\kappa.з.К0}^{(3)}}, \quad (18)$$

где U_κ – напряжение КЗ, кВ;

$I_{\kappa.з.К0}^{(3)}$ – трехфазный ток КЗ в точке К0 (на стороне 10 кВ ТП), кА»

[15].

$$X'_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 4,84} = 1,251 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление приводится к 0,4 кВ:

$$X_c = X'_c \cdot \frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}}, \quad (19)$$

$$X_c = 1251 \cdot \frac{0,4}{10,5} = 47,672 \text{ мОм.}$$

Переходное сопротивление: $R_{\kappa1} = 0,0034 \text{ мОм}$ » [15].

«Эквивалентные сопротивления участка:

$$R_{\text{э1}} = R_{T1} + R_{QF1} + R_{TA1} + R_{\kappa1}, \quad (20)$$

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

$$X_{\text{э1}} = X_m + X_{QF1} + X_{TA1}, \quad (21)$$

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

Сопротивления до точки КЗ:

$$R_{\kappa1} = R_{\text{э1}}, \quad (22)$$

$$\begin{aligned}
 R_{k1} &= 3,4 \text{ мОм}, \\
 X_{k1} &= X_c + X_{\sigma 1}, \\
 X_{k1} &= 47,672 + 13,8 = 61,472 \text{ мОм}, \\
 Z_{k1} &= \sqrt{3,4^2 + 61,472^2} = 61,566 \text{ мОм}.
 \end{aligned}
 \tag{23}$$

Трехфазный и ударный токи КЗ в точке К1, по (15,16):

$$\begin{aligned}
 I_{k1}^{(3)} &= \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 61,566} = 3,75 \text{ кА}, \\
 i_y &= \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 3,75 = 6,9 \text{ кА}.
 \end{aligned}$$

Результаты расчетов – в таблице 3» [12].

Таблица 3 – Токи КЗ, результаты расчетов

Точка КЗ	$I_{k}^{(3)}$, кА	i_y , кА
К1 (шины 10 кВ ТП)	4,84	12,33
К2 (шины 0,4 кВ ТП)	3,75	6,9

Выводы.

Определены расчетные токи короткого замыкания, согласно значениям которых, будет выбираться электрооборудование трансформаторной подстанции (высоковольтные выключатели, измерительные трансформаторы и т.д.). Паспортные технические параметры выбранного электрооборудования должны соответствовать расчетным параметрам КЗ по местам установки.

5 Выбор кабелей распределительной сети и аппаратов защиты линий

Производится расчет линий распределительной сети 0,4 кВ от ТП до производственных участков. Кабельные линии 0,4 кВ отходят от распределительного устройства 0,4 кВ подстанции и подключаются к вводным распределительным пунктам, расположенным внутри зданий производственных участков.

«Требуется обеспечить возможность индивидуального отключения участков для удобства обслуживания и вывода оборудования в ремонт, обеспечения надежной и селективной работы аппаратов защиты линий. Таким образом, для распределительной сети выбирается радиальная схема, каждый участок запитывается от ТП по отдельной КЛ. Линии выполняются кабелем АВБШв, прокладка – в траншеях под землей» [13]. Схема распределительной сети – на рисунке 5.

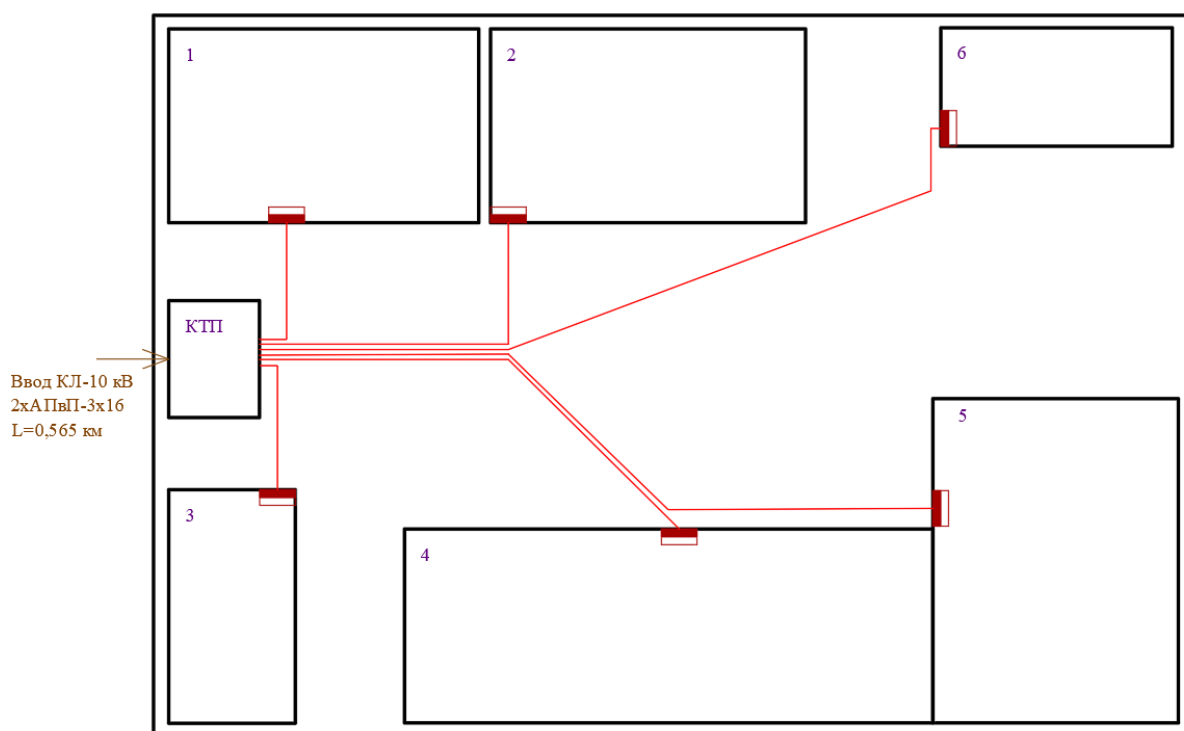


Рисунок 5 – Схема распределительной сети

Расчет для КЛ до участка №1.

«Наибольший ток линии:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (24)$$

где S_p – нагрузка, кВА;

U_n – напряжение, кВ» [8].

$$I_p = \frac{10,82}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 16,4 \text{ А.}$$

Выбирается кабель АВБШВ-4×4, $I_{\text{доп}} = 34 \text{ А}$ [9].

«При расчете потерь напряжения в сети до 1 кВ индуктивным сопротивлением проводов можно пренебречь.

Потери напряжения в КЛ:

$$\Delta U_n = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot 100}{U_n} (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (25)$$

где I_p – максимальный ток КЛ, А;

L – длина КЛ, км;

r_0 , x_0 – удельные сопротивления кабеля, Ом/км.

$$\Delta U_n = \frac{\sqrt{3} \cdot 16,4 \cdot 0,075 \cdot 100}{10} (7,49 \cdot 0,89 + 0 \cdot 0,41) = 0,9 \% < 5 \%$$

Потери менее предельно допустимых» [19].

Выбор кабелей – в таблице 4.

Таблица 4 – Выбор кабелей

Участок, № на генплане	I_p , А	АВБШв, сечение, мм ²	$I_{доп}$, А	ΔU , %
1	16,4	4×4	34	0,9
2	13,0	4×4	34	1,1
3	28,3	4×4	34	1,0
4	530,5	2×(3×150+1×95)	575	0,4
5	472,7	2×(3×120+1×70)	510	0,7
6	23,4	4×4	34	0,6

Выбранные кабели подходят по параметрам.

Выбор автоматических выключателей (АВ) для защиты КЛ проводится:

- по напряжению:

$$U_{ном} > U_c. \quad (26)$$

- по току теплового расцепителя (ТР):

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot I_p. \quad (27)$$

Для КЛ к участку №1:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot 16,4 = 18,1 \text{ А.}$$

Устанавливается ВА-51-25 на номинальный ток 25 А. Выбор АВ – в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор автоматов

№ участка на генплане	$1,1 \cdot I_p, A$	Авт. выкл.	$I_{ном}, A$
1	18,1	ВА-51-25	25
2	14,3	ВА-51-25	16
3	31,1	ВА-51-25	32
4	583,6	ВА-52-39	630
5	520,0	ВА-52-39	630
6	25,7	ВА-51-25	32

Внешний вид АВ показан на рисунке 6.



Рисунок 6 – Автоматический выключатель

Выводы.

Согласно рассчитанным рабочим токам линий питания производственных участков выбраны кабели распределительной сети марки АВШв, выполнена проверка по потерям напряжения. Выбраны автоматические выключатели серии ВА для защиты линий.

6 Выбор основного электрооборудования подстанции и его проверка

«Критерии выбора высоковольтных выключателей (ВВ):

$$U_{ном} \geq U_{раб}, \text{ кВ}, \quad (28)$$

$$I_{ном} \geq I_{раб}, \text{ кВ}, \quad (29)$$

$$I_{ном.откл} \geq I_{к}, \text{ кА}, \quad (30)$$

где $I_{ном.откл}$ – ток отключения, кА;

$I_{к}$ – ток трехфазного КЗ, кА.

$$i_{пр.с} \geq i_{у}, \text{ кА}, \quad (31)$$

где $i_{пр.с}$ – предельный сквозной ток, кА.

$$I_m^2 \cdot t_m \geq B_{к}, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (32)$$

где I_m – ток термической стойкости, кА;

t_m – время протекания тока, с;

$B_{к}$ – тепловой импульс, кА²·с.

$$B_{к} = I_{к}^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (33)$$

где $t_{откл}$ – время КЗ, с.

$$t_{откл} = t_{р.з.} + t_{откл.В}, \text{ с}, \quad (34)$$

где $t_{р.з.}$ – время срабатывания РЗ, с;

$t_{откл.В}$ – время отключения выключателя, с» [18].

$$t_{откл} = 0,025 + 0,1 = 0,125 \text{ с,}$$

$$B_k = 4,84^2 \cdot (0,125 + 0,07) = 4,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Наибольший ток на РУ 10 кВ подстанции, при наибольшей перегрузке трансформатора 40 %:

$$I_{\text{макс}} = \frac{S_{н.т.} \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (35)$$

$$I_{\text{макс}} = \frac{630 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 48,5 \text{ А.}$$

Выбираются выключатели ВВ/TEL-10/630, внешний вид показан на рисунке 7.



Рисунок 7 – Выключатель ВВ/TEL-10

Проверка ВВ по условиям выбора:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} \geq U_{раб} = 10 \text{ кВ},$$

$$I_{ном} = 630 \text{ А} \geq I_{раб} = 48,5 \text{ А},$$

$$I_{ном.откл} = 20 \text{ кА} \geq I_{к} = 4,84 \text{ кА},$$

$$i_{пр.с} = 31,5 \text{ кА} \geq i_{у} = 12,33 \text{ кА},$$

$$I_m^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq B_{к} = 4,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

ВВ подходят по всем условиям.

Критерии выбора разъединителей:

$$U_{н.ап.} \geq U_{н.уст.},$$

$$I_{н.ап.} \geq I_{раб.мах.},$$

$$I_{тер.}^2 \cdot t_{тер.} \geq B_{к},$$

$$i_{дин} \geq i_{у}.$$

Выбираются разъединители РВ-10/400, внешний вид показан на рисунке 8.

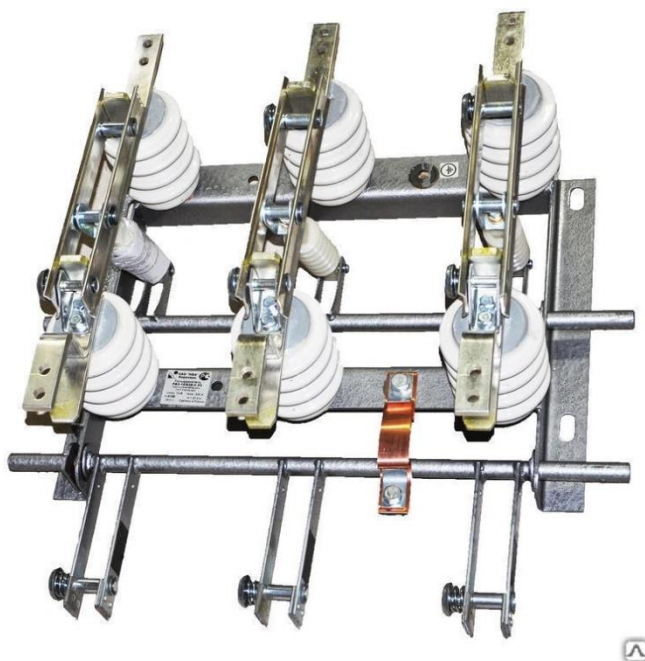


Рисунок 8 – Разъединитель РВ-10

Проверка разъединителей:

$$\begin{aligned}U_{н.апт.} &= 10 \text{ кВ} \geq U_{н.уст.} = 10 \text{ кВ}, \\I_{н.апт.} &= 400 \text{ А} \geq I_{раб.мах.} = 48,5 \text{ А}, \\I_{тер.}^2 \cdot t_{тер.} &= 3600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq B_{к} = 4,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \\i_{дин} &= 80 \text{ кА} \geq i_{у.} = 12,33 \text{ кА}.\end{aligned}$$

Принимаются ОПН-10, внешний вид – на рисунке 9.



Рисунок 9 – Внешний вид ОПН

Принимаются ТТ марки ТПЛ-10-М/50.

«Условия выбора ТТ:

$$U_{н.апт.} \geq U_{н.уст.},$$

$$I_{1н.} \geq I_{раб.мах.},$$

$$Z_{н.} \geq Z_{2\Sigma}.$$

Проверка на термическую и динамическую стойкость:

$$(k_{тер.} \cdot I_{1н.})^2 \cdot t_{тер.} \geq B_{к}, \quad (36)$$

$$i_{дин.} = \kappa_{тер.} \cdot \kappa_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1н.} \geq i_{y.} \quad (37)$$

где $\kappa_{тер.}$, $\kappa_{эд}$ – кратности стойкости;

$I_{1н.}$ – номинальный ток ТТ, кА» [20].

Проверка выбранных ТТ:

$$U_{н.амт.} = 10 \text{ кВ} \geq U_{н.уст.} = 10 \text{ кВ},$$

$$I_{1н.} = 50 \text{ А} \geq I_{раб.макс.} = 48,5 \text{ А},$$

$$(60 \cdot 0,05)^2 \cdot 3 = 27 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 4,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$265 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,05 = 18,7 \text{ кА} > 12,33 \text{ кА}.$$

«Сопротивление нагрузки:

$$Z_{2\Sigma} = Z_{приб.} + Z_{пров.} + Z_{конт.}, \quad (38)$$

где $Z_{приб.}$, $Z_{пров.}$, $Z_{конт.}$ – сопротивление приборов, проводов и контактов, Ом.

$$Z_{пров.} = \frac{l_{пров.} \cdot \rho}{S_{пров.}}, \quad (39)$$

где $l_{пров.}$ – длина проводов, м;

ρ – удельное сопротивление, Ом·мм²/м;

$S_{пров.}$ – сечение, мм².

$$Z_{приб.} = \frac{S_{приб.}}{I_{н.приб}^2}, \quad (40)$$

где $S_{приб.}$, $I_{н.приб}$ – мощность, В·А, и рабочий ток прибора, А» [20].

$$S_{\text{приб.}} = \frac{1}{5^2} = 0,04 \text{ Ом},$$

$$Z_{\text{пров.}} = \frac{25 \cdot 0,0175}{4} = 0,109 \text{ Ом},$$

$$Z_{2\Sigma} = 0,04 + 0,109 + 0,1 = 0,249 \text{ Ом}.$$

Погрешность ТТ составит менее 10% [16].

Внешний вид ТТ – на рисунке 10.



Рисунок 10 – Трансформатор тока ТПЛ-10-М

Наибольший ток на РУ 0,4 кВ подстанции, по (35):

$$I_{\text{макс}} = \frac{630 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1273 \text{ А}.$$

На стороне 0,4 кВ принимаются ТТ марки ТПЛ-0,66/1500 (20...600 на фидерах), проверка по условиям выбора:

$$U_{\text{н.анн.}} = 0,66 \text{ кВ} \geq U_{\text{н.уст.}} = 0,4 \text{ кВ},$$

$$I_{1н.} = 1500(20...600) \text{ А} \geq I_{\text{раб.макс.}} = 1273(13...530,5) \text{ А},$$

$$(110 \cdot 0,02)^2 \cdot 3 = 14,52 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > 2,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$375 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,02 = 10,6 \text{ кА} > 6,9 \text{ кА}.$$

ТТ подходят, внешний вид ТТ показан на рисунке 11.



Рисунок 11 – Трансформаторы тока ТШЛ-0,66

«Условия выбора ТН:

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

$$S_{\text{ном}} \geq S_{2\Sigma}.$$

Принимаются ТН марки НАМИ-10-95, проверка:

$$U_{\text{н.ант.}} = 10 \text{ кВ} \geq U_{\text{н.уст.}} = 10 \text{ кВ},$$

$$S_{\text{ном}} = 200 \text{ В} \cdot \text{А} \geq S_{2\Sigma} = 55 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

ТН подходят, будет обеспечиваться достаточная точность измерений.

Выбираются камеры секционные односторонние (КСО) марки КСО-298/630А, внешний вид – на рисунке 12.

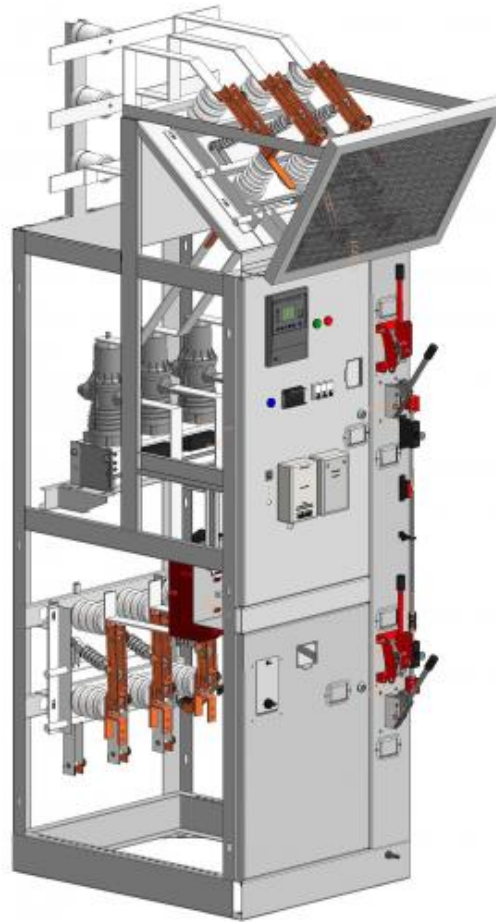


Рисунок 12 – Внешний вид КСО-298

КСО обеспечивают безопасность работы с электрооборудованием, так как они изолируют рабочее пространство от высокого напряжения. Это снижает риск поражения электрическим током и обеспечивает безопасность работы персонала. КСО компактны и легко монтируются, что упрощает их установку и эксплуатацию. Они также имеют простую и понятную систему управления, что облегчает работу с ними для обслуживающего персонала.

Выводы.

Выбрано основное электрооборудование подстанции отечественного производства. Выполнена проверка электрооборудования по техническим параметрам согласно местам установки, надежная работа в рабочих и аварийных режимах будет обеспечиваться.

7 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

Выбор устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) является важным этапом при проектировании и эксплуатации электроэнергетических систем [1]. Этот выбор основывается на ряде критериев, включая:

- тип и параметры защищаемого объекта: характеристики и параметры защищаемой энергосистемы, такие как мощность, напряжение, тип нагрузки и т.д., играют ключевую роль в выборе устройств РЗА;
- требования к надежности и быстродействию: устройства РЗА должны обеспечивать надежную защиту объектов от коротких замыканий, перегрузок и других аварийных режимов, а также иметь минимальное время срабатывания для минимизации ущерба;
- совместимость с существующими системами: выбранные устройства РЗА должны быть совместимы с уже существующими системами, чтобы обеспечить их совместную работу без конфликтов и сбоев;
- экономическая эффективность: выбор устройств РЗА должен учитывать не только их технические характеристики, но и экономические аспекты, такие как стоимость оборудования, затраты на его эксплуатацию и техническое обслуживание;
- стандарты и нормативные требования: выбор устройств РЗА также должен соответствовать действующим стандартам и нормативным требованиям, которые определяют их характеристики, методы испытаний и методы проектирования.

Микропроцессорная РЗА представляет собой систему защиты, управления и контроля, в которой используются микропроцессорные технологии. Она обеспечивает более точную и быструю защиту по сравнению с традиционными электромеханическими устройствами. Микропроцессорные устройства РЗА позволяют более эффективно

использовать электроэнергию, снижают потери и повышают надежность электроснабжения.

Питающая КЛ 10 кВ и силовые трансформаторы ТП защищаются релейной защитой (РЗ) на основе терминалов ЭКРА 247.

Внешний вид терминала РЗ – на рисунке 13.



Рисунок 13 – Терминал ЭКРА 247

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

- надежная современная схемотехника;
- высокое быстродействие;
- точная программная настройка АВР;
- эффективная передача данных в цифровую сеть;
- удаленные контроль и администрирование работы.

Внешний вид терминала – на рисунке 14.



Рисунок 14 – Внешний вид терминала ЭКРА 217 0701

Расчет уставок защит блоков «питающая КЛ 10 кВ – силовые трансформаторы ТП».

«Токовая отсечка (ТО):

$$I_{C3} \geq K_{отс} \cdot I_{НОМ.Т} , \quad (41)$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки.

$$I_{C3} \geq 5 \cdot 0,036 = 0,182 \text{ кА.}$$

МТЗ:

$$I_{C3} \geq \frac{K_H \cdot K_{C3}}{K_B} \cdot I_{р.макс} , \quad (42)$$

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

Чувствительность защиты» [1]:

$$k_q = \frac{I_K^{(2)}}{I_{C3}}, \quad (43)$$

$$I_{C3} \geq \frac{1,1 \cdot 1,18}{0,935} \cdot 38,2 = 53,03 \text{ А},$$

$$k_q = \frac{4200}{53,03} = 79,1 \geq 1,5.$$

«Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = I_{C3} \cdot \frac{k_{cx}}{n_T}, \quad (44)$$

где k_{cx} , n_T – коэффициенты схемы и трансформации для ТТ» [1].

$$I_{CP} = 53,03 \cdot \frac{1}{50/5} = 5,303 \text{ А}.$$

«Ток срабатывания защиты от замыканий на землю:

$$I_{C.з.} \geq k_{отс} \cdot k_B \cdot I_C, \quad (45)$$

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

I_C – ёмкостный ток присоединения, А.

$$I_C = I_{CO} \cdot L, \quad (46)$$

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

L – длина КЛ, км.

$$I_C = 0,55 \cdot 0,565 = 0,311 \text{ А},$$

$$I_{C.3.} \geq 1,2 \cdot 2,5 \cdot 0,311 = 0,932 \text{ A.}$$

Расчет уставок АВР на шинах 0,4 кВ подстанции.

Первая уставка:

$$U_{C.P} = 0,7 \cdot U_{НОМ}, \quad (47)$$

где $U_{НОМ}$ – напряжение сети, В» [1].

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

Вторая уставка:

$$U_{C.P} = (0,6 \div 0,65) \cdot U_{НОМ}, \quad (48)$$

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

«Время срабатывания АВР:

$$t_{C.P.ABP} = t_1 + \Delta t, \quad (49)$$

где t_1 – время срабатывания выключателей, с;

Δt – ступень селективности, с» [3].

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

Выводы.

Проведен выбор устройств релейной защиты и автоматики, выбраны современные микропроцессорные терминалы ЭКРА 247 для защиты блоков «питающая КЛ 10 кВ – силовые трансформаторы ТП» и ЭКРА 217 0701 для АВР на ТП. Рассчитаны уставки предусмотренных видов защит.

8 Расчет заземления и молниезащиты подстанции

Выбирается глубинный тип заземляющего устройства (ЗУ), который обеспечивает преимущества:

- высокие антикоррозионные свойства, устойчивость к повреждающим воздействиям окружающей среды;
- долговечность, в среднем. срок службы глубинного ЗУ составляет около 80-100 лет;
- возможность добиться устойчивого низкого уровня сопротивления, которое не будет зависеть от климатических условий;
- удобный простой монтаж;
- минимизация эксплуатационных расходов [19].

Эквивалентное сопротивление глубинного ЗУ может быть определено по формуле:

$$R_{з\gamma} = \frac{R_{ог\gamma}}{n}, \quad (50)$$

где $R_{ог\gamma}$ – сопротивление растеканию для одного вертикального электрода (ВЭ), Ом;

n – число глубинных ВЭ, 4 шт.

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

$$\rho_p = \rho \cdot K_c, \quad (51)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом · м;

K_c – коэффициент сезонности.

$$\rho_{pg} = 300 \cdot 1,1 = 330 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$\rho_{pz} = 300 \cdot 1,4 = 420 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Принимается 4 глубинных ВЭ (сталь круглая омедненная диаметром 16 мм) длиной 15 м, расстояние от поверхности до верхнего конца ВЭ составляет 0,25 м» [19]. Схема ЗУ показана на рисунке 15.

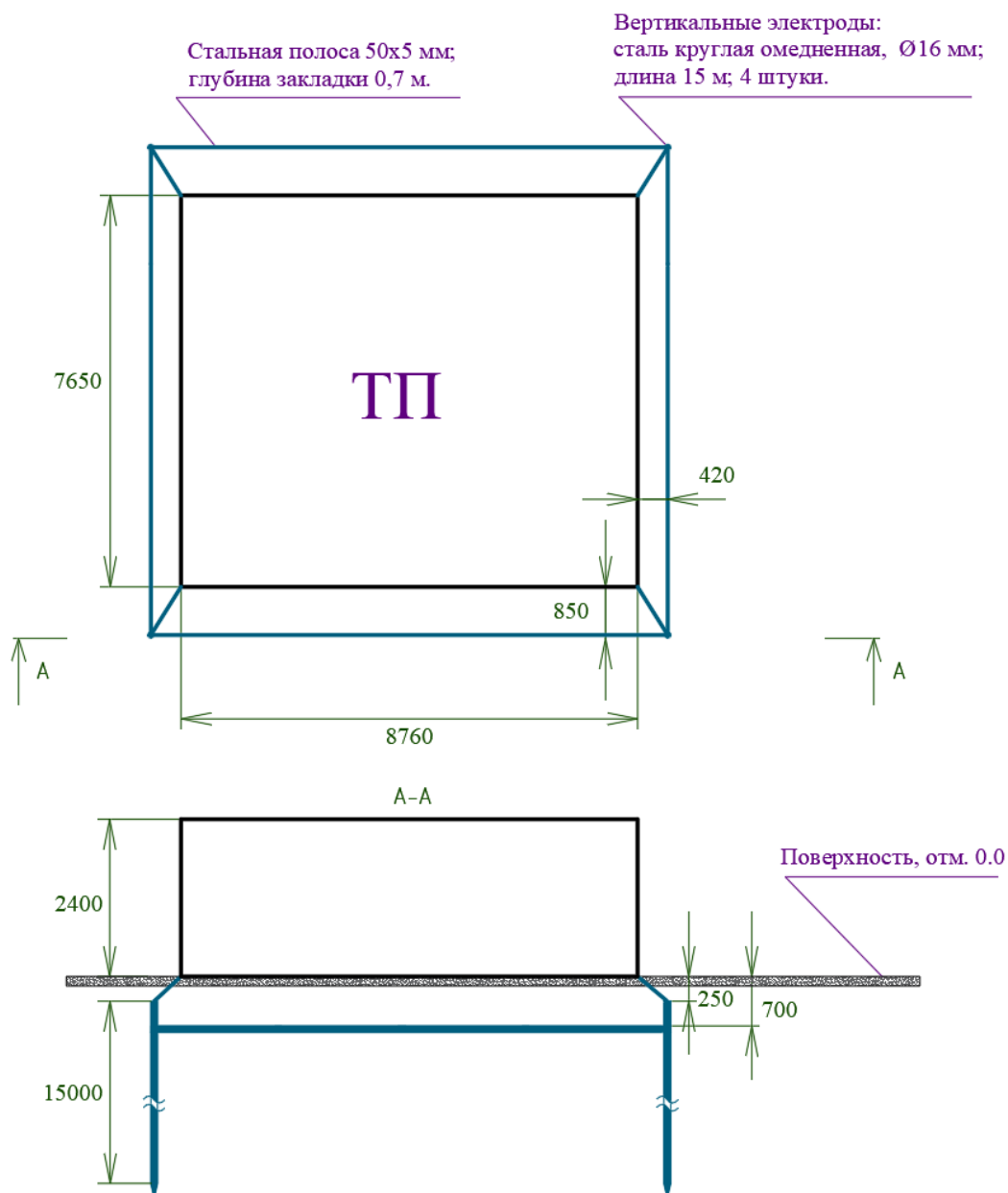


Рисунок 15 – Схема заземляющего устройства ТП

Сопротивление растеканию ВЭ:

$$R_{\text{огэ}} = \frac{\rho_{\text{пв}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right], \quad (52)$$

где l – длина, м;

d – диаметр, м;

t – расстояние от поверхности до центра ВЭ, м.

$$t = 15 / 2 + 0,25 = 7,75 \text{ м},$$

$$R_{\text{огэ}} = \frac{330}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 15}{0,016} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 7,75 + 15}{4 \cdot 7,75 - 15} \right) \right] = 13,828 \text{ Ом}.$$

Эквивалентное сопротивление глубинного ЗУ составит, по (49):

$$R_{\text{зу}} = \frac{13,828}{4} \approx 3,46 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом}.$$

Сопротивление ЗУ не превысит допустимый по ПУЭ предел 4 Ом [9].

Система заземления нейтрали распределительной сети принимается типа TN-C-S.

Система TN-C-S включает в себя три основных проводника: заземленную нейтраль, которая служит для соединения нулевых рабочих проводников (N) и нулевых защитных проводников (PE). Нейтраль и защитные проводники не разделены на протяжении всей линии до ввода в здание (идут вместе, но не соединены друг с другом). Непосредственно перед вводом в здание или сооружение, нейтраль и защитный проводник разделяются, и проводник PE соединяется с землей. После разделения нейтрали и защитного проводника, они идут отдельно до конечных точек электропроводки. Проводник N подключается к электрической установке, а защитный проводник PE идет непосредственно на землю.

Молниезащита ТП будет обеспечиваться одиночным строжневым молниеотводом (МО), установленным на крыше, по центру. Зоной защиты

МО высотой h является конус высотой $h_0 < h$, вершина которого совпадает с вертикальной осью МО. Радиус сечения зоны защиты:

$$r_x = \frac{r_0 \cdot (h_0 - h_x)}{h_0}, \quad (53)$$

где r_0 – радиус конуса защиты на уровне земли, м;

h_0 – высота конуса защиты, м;

h_x – расчетная высота зоны защиты, м.

Высота $h_x = 0$ (т.к. МО установлен на крыше), $r_x = r_0$.

$$h_0 = 0,85 \cdot h, \quad (54)$$

где h – высота МО, м.

$$r_0 = 1,2 \cdot h, \quad (55)$$

Высоту МО подбираем эмпирически, по условию:

$$\sqrt{(A/2)^2 + (B/2)^2} < r_0, \quad (56)$$

где A , B – длина и ширина защищаемой площади, м.

Для МО высотой 5 м, по (55-56):

$$r_0 = 1,2 \cdot 5 = 6 \text{ м,}$$

$$h_0 = 0,85 \cdot 5 = 4,25 \text{ м,}$$

$$\sqrt{(8,76/2)^2 + (7,65/2)^2} < 6,$$

$$5,82 < 7,2.$$

Защита обеспечивается.

Схема молниезащиты ТП показана на рисунке 16.

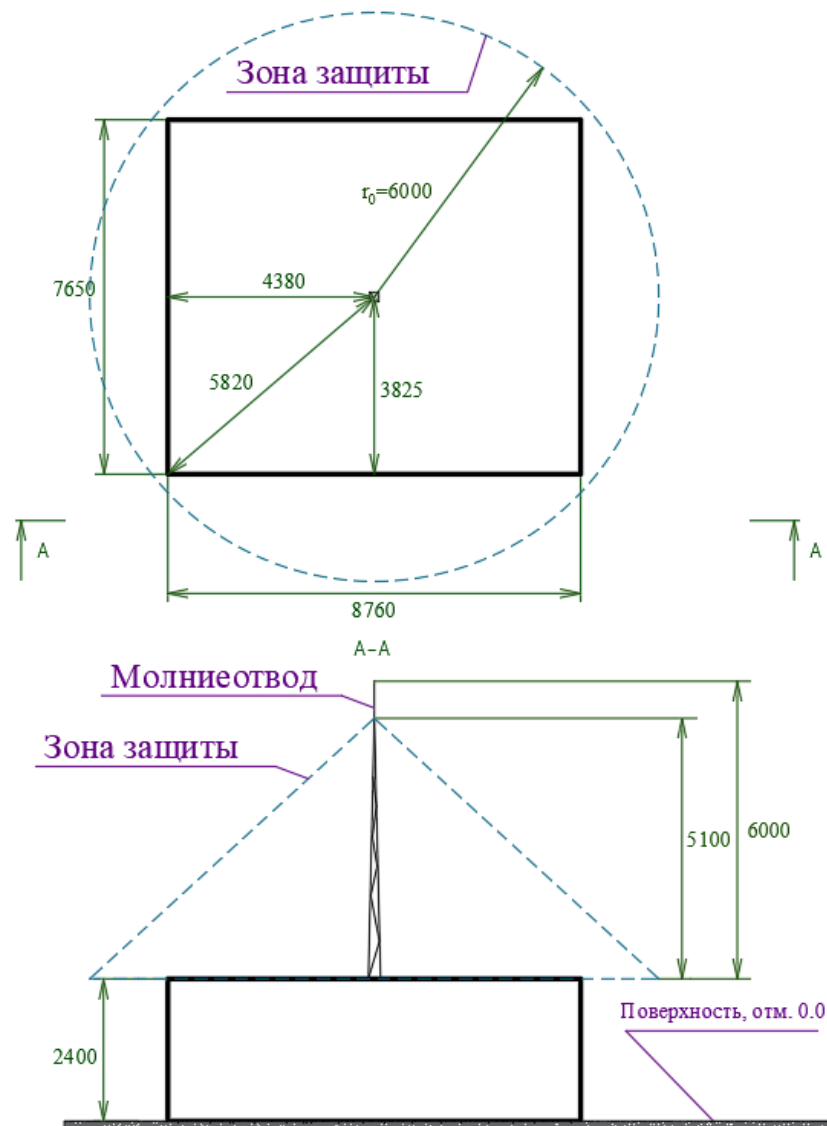


Рисунок 16 – Схема молниезащиты ТП

Выводы.

Спроектированы заземляющее устройство ТП и ее молниезащита. Эффективное ЗУ глубинного типа обеспечит надлежащий уровень электробезопасности и надежную работу электрической сети. Молниезащита ТП будет обеспечиваться по всей площади здания, с запасом, надлежащий уровень молниезащиты также будет обеспечен.

Заключение

Проведена разработка системы электроснабжения базы строительных материалов ООО «Строй Синергия» в г. Краснодар.

Решены задачи:

- выполнен анализ исходных данных по электроснабжению потребителей базы строительных материалов. Потребители электроэнергии на производственных участках – трехфазные и однофазные электроприемники напряжением питания 380 В и 220 В. Питание участков будет выполнено от ТП 10/0,4 кВ, которая расположена в западной части территории базы;
- проведен расчет электрических нагрузок производственных участков, которые составили от 8,53 кВА до 349,16 кВА. В целом по базе ожидаемые среднесменные нагрузки составили 588,95 кВт, 402,04 квар, 713,09 кВА;
- проведен выбор и расчет числа и мощности силовых трансформаторов подстанции. Рассчитана компенсация реактивной мощности, выбраны две установки АУКРМ-0,4-95 по 95 квар, автоматические изменяющие уровень КРМ в зависимости от текущего коэффициента мощности сети. Для установки на ТП выбраны энергосберегающие трансформаторы марки ТМГ35-630, которые обеспечат экономию электроэнергии и высокий КПД работы подстанции;
- для выбора и проверки электрооборудования, а также расчета уставок РЗА, проведен расчет токов короткого замыкания;
- выбраны кабели распределительной сети марки АВВШв и аппараты защиты линий (автоматические выключатели серии ВА), линии проверены по потерям напряжения. Кабельные линии 0,4 кВ отходят от распределительного устройства 0,4 кВ подстанции и подключаются к вводным распределительным пунктам,

расположенным внутри зданий производственных участков. Составлен план прокладки кабелей распределительной сети;

- проведен выбор основного электрооборудования подстанции и выполнена его проверка. На ТП будут установлены: выключатели ВВ/TEL-10/630, разъединители РВ-10/400, трансформаторы тока ТПЛ-10-М/50, ТШЛ-0,66/20...1500, трансформаторы напряжения НАМИ-10-95, ограничители перенапряжения ОПНп-10, камеры КСО-298/630А. Выполнена проверка электрооборудования по техническим параметрам согласно местам установки, надежная работа в рабочих и аварийных режимах будет обеспечиваться;
- выбраны устройства релейной защиты и автоматики. выбраны современные микропроцессорные терминалы ЭКРА 247 для защиты блоков «питающая КЛ 10 кВ – силовые трансформаторы ТП» и ЭКРА 217 0701 для АВР на ТП. Рассчитаны уставки предусмотренных видов защит;
- выполнен расчет заземления и молниезащиты подстанции. Эффективное ЗУ глубинного типа обеспечит надлежащий уровень электробезопасности и надежную работу электрической сети. На крыше ТП будет установлен одиночный стержневой молниеотвод. Молниезащита ТП будет обеспечиваться по всей площади здания, с запасом, надлежащий уровень молниезащиты также будет обеспечен. Составлены схемы заземляющего устройства и молниезащиты ТП.

Предлагаемый проект электроснабжения базы строительных материалов ООО «Строй Синергия» в г. Краснодар обеспечит ее качественное и надежное электроснабжение и планируется к реализации в ближайшее время.

Список используемых источников

1. Бирюлин В.И. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
2. Бирюлин В.И. Электроснабжение промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 204 с.
3. Горемыкин С. А. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2023. 191 с.
4. Иванов С.Н. Надежность электроснабжения : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
5. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
6. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: Учебное пособие. М. : Форум, 2022. 416 с.
7. Петухов Р.А. Электроснабжение : учебное пособие. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. 328 с.
8. Полуянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий. СПб. : Лань, 2023. 396 с.
9. Правила устройства электроустановок: действующие разделы 6-го и 7-го изданий. М. : ИНФРА-М, 2023. 832 с.
10. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания. М. : Издательство НЦ ЭНАС, 2002. 149 с.
11. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение : учебное пособие. – 2-е изд., стер. М. : ИНФРА-М, 2023. 328 с.
12. Сибикин Ю. Д. Современные электрические подстанции : учебное пособие. – 2-е изд., доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 417 с.

13. Фризен В. Э. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий : учебное пособие. – 2-е изд., испр. Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2021. 194 с.

14. Хорольский В.Я. Эксплуатация систем электроснабжения : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2021. 288 с.

15. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования : учебное пособие. – 3-е изд., испр. М. : ИНФРА-М, 2023. 214 с.

16. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учебное пособие. – 3-е изд. М. : ИНФРА-М, 2023. 136 с.

17. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях : учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. 495 с.

18. Щербаков, Е. Ф. Электрические аппараты : учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 303 с.

19. Школа для электрика. [Сайт]. – <http://electricalschool.info/> (дата обращения: 16.10.2023).

20. Я энергетик. [Сайт]. – <https://yaenergetik.ru/> (дата обращения: 18.11.2023).