

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 главного корпуса
электротехнического завода

Студент

В.А. Богданов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, Ю.В. Черненко

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

Аннотация

Бакалаврская работа выполнена на тему «Проектирование системы электроснабжения главного корпуса электротехнического завода».

На первом этапе в работе определялись электрические нагрузки силовых электроприемников по главному корпусу и от системы искусственного освещения.

Было определено необходимое количество и мощность цеховых трансформаторов, размещающихся в корпусах завода и средств компенсации реактивной мощности, устанавливаемых на КТП.

Определены действующие значения токов короткого замыкания и ударные токи КЗ в сетях напряжением 0,4 кВ, выбраны провода, кабели, шинопроводы. Автоматические выключатели проверены на коммутационную способность.

Произведен расчет сетей 10 кВ, определены марки и сечения кабелей. На главной понизительной подстанции предприятия выбраны силовые трансформаторы и основное электрооборудование, планируемое к установке в открытом и закрытом распределительном устройствах.

Определены параметры защитного заземления главной понизительной подстанции.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки объемом 54 страницы печатного текста, дополненной 2 рисунками и 5 таблицами.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика объекта.....	5
2 Определение параметров внутрицеховых сетей 0,4 кВ.....	9
2.1 Выбор схемы внутрицехового электроснабжения.....	9
2.2 Определение расчетных электрических нагрузок по корпусу.....	9
2.3 Определение расчетных электрических нагрузок системы искусственного освещения.....	13
2.4 Определение числа и номинальной мощности трансформаторов КТП	17
2.5 Выбор распределительных шинопроводов.....	18
2.6 Определение значений токов КЗ в сетях 0,4 кВ.....	20
2.7 Выбор электрических аппаратов в сети 0,4 кВ.....	24
3 Определение параметров внутризаводских сетей 10 кВ.....	28
3.1 Определение токов КЗ в сетях выше 1000 В.....	28
3.2 Определение параметров кабельной линии 10 кВ.....	31
4 Выбор трансформаторов ГПП и основного электрооборудования.....	33
4.1 Электрические нагрузки трансформаторов ГПП.....	33
4.2 Выбор трансформаторов на ГПП.....	33
4.3 Выбор высоковольтного выключателя.....	34
4.4 Выбор разъединителей 35 кВ.....	37
4.5 Выбор шин в РУ 10 кВ.....	38
4.6 Выбор изоляторов 10 кВ.....	39
4.7 Выбор измерительных трансформаторов тока.....	41
4.8 Выбор измерительных трансформаторов напряжения.....	45
4.9 Выбор ОПН.....	47
5 Защитное заземление.....	48
Заключение.....	51
Список используемых источников.....	52

Введение

Электрическая энергия вырабатывается на электростанциях и по сетям высокого напряжения (как правило выше 110 кВ) передается до промышленных предприятий где на главной понизительной подстанции напряжение понижается до напряжения 6 или 10 кВ, передается до цеховых трансформаторных подстанций, понижается до напряжения 0,4 кВ на котором и потребляется электроприемниками предприятия.

Систему электроснабжения промышленного предприятия как правило делят на три составные части:

1. Систему внешнего электроснабжения предприятия;
2. Системы внутреннего электроснабжения предприятия;
3. Систему внутрицехового электроснабжения.

В систему внешнего электроснабжения входят электрические сети от электростанции или подстанции энергосистемы до главной понизительной подстанции предприятия. К системе внутреннего электроснабжения предприятия относятся электрические аппараты и электрические сети от ГПП до высоковольтного распределительного пункта (при его наличии) и до цеховых трансформаторных подстанций. В большинстве случаев сети внутреннего электроснабжения предприятия выполняются кабельными линиями 6 или 10 кВ и строятся по магистральному принципу, радиальная схема используется для питания особо ответственных или обособленных и отдаленных цехов. К системе внутрицехового электроснабжения относятся электрооборудования и электрические сети от ТП до электроприемников, включая шинопроводы, низковольтные распределительные пункты и т.д. [1-3].

Целью работы является повышение надежности и экономичности системы электроснабжения главного корпуса электротехнического завода путем замены морально и физически изношенных электроаппаратов, и проводников на новые.

1 Характеристика объекта

Электротехнический завод занимается выпуском продукции, производит текущий и капитальный ремонт:

- электродвигателей промышленного назначения (ремонт асинхронных электродвигателей, тяговых электродвигателей, щеточных электродвигателей, крановых электродвигателей, а так же ремонт электродвигателей постоянного тока. Замена обмотки, подшипников, восстановление изоляции, балансировка, восстановление механических повреждений);

- трансформаторов (ремонт силовых масляных трансформаторов, сухих трансформаторов, специальных трансформаторов для электропечей, сварочных трансформаторов, тяговых трансформаторов, трансформаторов 110 кВ и низковольтных трансформаторов. После ремонта трансформаторы проходят проверку в аттестованной заводской лаборатории);

- отверстий методом наплавки и расточки (для восстановления отверстий используются импортные расточно-наплавочные комплексы, которые обеспечивают заданную высокую точность как при малых, так и больших диаметрах. Расточка, наплавка металла внутри или снаружи отверстия, сверление до необходимого диаметра, восстановлению резьбы и посадочных мест);

- локомотивов и тяговых агрегатов (ремонт или полная замена электропроводки электровозов и тепловозов различных серий и другой железнодорожной техники. Ремонт электродвигателей и трансформаторов. На территории завода производится ремонт подвижного состава, включая ремонт колесных пар методом наплавки, ремонт электропроводки и ее полная замена).

«Выездные бригады могут произвести первоначальную диагностику и демонтаж оборудования прямо на объекте, на котором он установлен, а в случае необходимости произвести мелкий ремонт.

В случае невозможности устранения неисправности непосредственно на объекте - специалисты выездной бригады произведут демонтаж для

последующей его транспортировки на завод для проведения капитального ремонта оборудования и проверки его технических параметров.

Мощности и оборудование завода позволяют исправить практически любую неисправность в электродвигателях. Краткий перечень устраняемых дефектов и неисправностей асинхронных электродвигателей:

- замена обмотки корзиночного типа у статора;
- восстановление посадочных мест;
- механическая обработка и восстановление шпоночных пазов;
- ремонт корпуса, включая трещины и другие дефекты;
- ремонт подшипниковых щитов;
- проверка сопротивления;
- снятие якоря;
- балансировка якоря.

При ремонте электродвигателей с фазным ротором учитываются все конструктивные особенности данного типа электродвигателей.

Ремонт статора электродвигателя с фазным ротором заключается в замене или переизолировки статорных секций. В случае замены - новая статорная секция изготавливается непосредственно на заводе и отвечает всем необходимым требованиям» [1].

При ремонте якоря электродвигателя с фазным ротором специалисты завода производят переизолировку или замену катушек возбуждения. В случае необходимости их замены - катушки возбуждения для электродвигателя производятся также на заводе. Кроме того, на заводе производятся работы по восстановлению токосъемных колец. «После любых ремонтных операций с якорем производится его балансировка для предотвращения появления вибраций и других нежелательных явлений, которые могут появиться в процессе работы двигателя.

Так же в перечень ремонта входит: восстановление посадочных мест, механическая обработка и восстановление шпоночных пазов, ремонт корпуса электродвигателя, ремонт подшипниковых щитов, а так же проверка

сопротивления и других электрических характеристик двигателя в аттестованной лаборатории завода» [1].

Ремонтные работы по восстановлению электродвигателей, работающих на постоянном токе, включают в себя: ремонт статора, ремонт якоря, а так же замену или ремонт индуктора.

В случае необходимости замены завод производит катушки главных и дополнительных полюсов, а так же их восстановительный ремонт.

«Текущий и капитальный ремонт тяговых электродвигателей тепловозов, тяговых агрегатов и прочего подвижного состава включает в себя:

- ремонт катушек возбуждения;
- замену или переизолировку статорных секций;
- ремонт якоря;
- восстановление моторно-осевых подшипников методом наплавки и расточки;
- ремонт обмотки компенсации (компенсационной обмотки);
- восстановление токосъемных колец;
- замену щеток;
- ремонт подшипниковых щитов;
- балансировку якоря;

Специалисты завода осуществляют как текущий, так и капитальный ремонт электродвигателей. В первом случае ремонт электродвигателя направлен на восстановление работоспособности и заменяются или восстанавливаются отдельные части. Производится с периодичностью, которая обычно составляет раз в два года и зависит от типа машины, частью которой он является и от суточной продолжительности функционирования. Капитальный ремонт электродвигателей – более трудный и глубокий технологический процесс. При капитальном ремонте электродвигателя проводится поэтапная дифференцированная диагностика, в ходе которой ставятся конкретные задачи, требующие иногда нестандартных технических решений» [1].

На сегодняшний день предприятие производит работы по капитальному ремонту следующего электрооборудования:

- ремонт тягового электродвигателя для магистральных тепловозов отечественного производства;

- ремонт тяговых электродвигателей для промышленных электровозов;

- ремонт тяговых электродвигателей для автомобилей марки «БелАЗ»;

«Кроме того, предприятие производит ремонт электродвигателей постоянного тока. Спектр моделей составляют в том числе:

- электродвигатели для шахтных трамваев и электровозов;

- электродвигатели постоянного тока типа ДПП, 4ПС, МПЭ и пр.;

- электрические машины буровых станков, карьерных экскаваторов, а также тяжелых бульдозеров;

- электродвигатели постоянного тока для грузоподъемных механизмов;

- электродвигатели переменного тока СТД и других типов;

- синхронные генераторы СГС;

- электродвигатели и генераторы постоянного тока для разнообразных механизмов;

- взрывозащищенные электродвигатели типов ВАСО и ВАО;

- электродвигатели переменного тока напряжением 400В нормального исполнения и любой мощности, в том числе отечественных серий, а также импортного производства» [1].

Дана характеристика предприятия, выпускаемой продукции и оказываемых услуг, а также направлений перспективного развития.

2 Определение параметров внутрицеховых сетей 0,4 кВ

2.1 Выбор схемы внутрицехового электроснабжения

«Цеховые сети по своему назначению подразделяют на питающие и распределительные. Питающие сети отходят от источника питания (цеховой трансформаторной подстанции - ТП) к электроприемникам или группе электроприемников. Часто применяются комплектные трансформаторные подстанции КТП, обеспечивающие распределение электроэнергии к распределительным пунктам (щитам, шкафам, распределительным шинопроводам) внутри цеха или распределительных пунктов (ПР), находящимся в разных цехах. Распределительные сети отходят от распределительных устройств подстанции или ПР к электроприемникам» [4, 5, 6].

По своему типу внутрицеховые электрические сети могут быть отнесены к радиальным, магистральным или смешанным сетям.

Поскольку электроприемники четвертого производственного корпуса равномерно рассредоточены по площади производственного цеха с нормальной окружающей средой и относятся ко второй категории по надежности электроснабжения, то для их питания целесообразно будет выбрать магистральную схему электроснабжения. Схему планируется выполнить с использованием распределительных шинопроводов, которые будут получать питание от шин КТП и крепится к колоннам цеха. Питание отдельных электроприемников от шинопроводов будет осуществляться через провода, проложенные в металлорукаве.

2.2 Определение расчетных электрических нагрузок по корпусу

«При проектировании СЭС применяют различные методы определения расчетных нагрузок, которые, как считается, с достаточной достоверностью

позволяют выбрать мощности источников питания, сечения и материал линий распределительных сетей, коммутационно-защитную аппаратуру. Методы расчета электрических нагрузок подразделяют на две группы: основные и вспомогательные» [5].

Для проведения расчетов воспользуемся методом коэффициента максимума, который еще называют методом упорядоченных диаграмм, так как в его основе лежит анализ упорядоченных диаграмм индивидуальных графиков. В качестве расчетной нагрузки используется максимальная мощность, определенная по установленной методике.

«Расчет нагрузок по этому методу выполняется в следующем порядке:

а) приемники электрической энергии группируются по одинаковым значениям коэффициентов использования и мощности;

б) определяются среднесменные активные и реактивные мощности для каждой группы электроприемников и в целом по цеху;

в) рассчитываются средневзвешенный коэффициент использования, эффективное число приемников и коэффициент максимума, расчетные активные и реактивные по группе и по цеху в целом» [7, 8].

Определим значение эффективного числа электроприемников:

$$n_{эф} = 0,95 \frac{P_{ном}^2}{\frac{P_{ном1}^2}{n_1} + \frac{(P_{ном} - P_{ном1})^2}{n - n_1}}, \quad (1)$$

ШРА1:

$$n_{эф1} = 0,95 \frac{470^2}{\frac{232^2}{7} + \frac{(470 - 232)^2}{38 - 7}} = 22 ;$$

ШРА2:

$$n_{эф2} = 0,95 \frac{453^2}{\frac{224^2}{6} + \frac{(453 - 224)^2}{37 - 6}} = 20 .$$

K_p находим из справочных таблиц: $K_{p1} = K_{p2} = 0,85$.

Определим значение расчетной активной нагрузки:

$$P_p = K_p P_{cp}; \quad (2)$$

ШРА1:

$$P_{p1} = 0,85 \cdot 184,8 = 157,1 \text{ кВт};$$

ШРА2:

$$P_{p2} = 0,85 \cdot 188,1 = 160,1 \text{ кВт}.$$

Определим значение расчетной реактивной нагрузки:

$$Q_p = Q_{cp} = K_{II} P_{cp} \operatorname{tg} \varphi; \quad (3)$$

$$Q_{p1} = Q_{cp1} = 0,4 \cdot 277,2 = 110,9 \text{ кВар};$$

$$Q_{p2} = Q_{cp2} = 0,4 \cdot 282,6 = 113 \text{ кВар}.$$

Определим значение расчетного тока для ШРА1 и ШРА2:

$$I_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (4)$$

$$I_{p1} = \frac{\sqrt{157,1^2 + 110,9^2}}{1,73 \cdot 0,38} = 292,5 \text{ А};$$

$$I_{p2} = \frac{\sqrt{160,1^2 + 113^2}}{1,73 \cdot 0,38} = 298 \text{ А}.$$

Итоги определения расчетных нагрузок по производственному корпусу заносим в таблицу 1.

В таблице используются следующие сокращенные названия электрооборудования: МРС- металлорежущие станки; СО - сварочное оборудование; Кр – краны; В – вентиляторы; Пр – прессы; П – печи; К – компрессоры.

Таблица 1 – Итоги определения расчетных нагрузок по производственному корпусу

Сокр. название электрооб.	n , шт	P_n , кВт	$K_{пер}$	$\cos \varphi$	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, квар	$K_{пер}$	$n_{э}$, шт	K_p	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
МРС	14	91	0,16	0,5	14,6	25,3	-	-	-	-	-	-	-
СО	1	14	0,35	0,6	4,9	6,5							
Кр	1	3	0,8	0,5	2,4	4,2							
В	2	70	0,65	0,8	45,5	34,1							
Пр	15	158	0,17	0,65	26,9	31,4							
П	3	95	0,7	0,95	66,5	21,9							
К	1	37	0,65	0,8	24	18							
Всего по ШРА1	37	468	-	-	184,8	141,4	0,4	22	0,85	157	111	192	292,5
МРС	14	73,5	0,16	0,5	11,8	20,4	-	-	-	-	-	-	-
СО	2	24	0,35	0,6	8,4	11,2							
Кр	2	27	0,8	0,5	21,6	37,4							
В	1	40	0,65	0,8	26	19,5							
Пр	13	148,5	0,17	0,65	25,2	29,5							
П	3	102	0,7	0,95	71,4	23,5							
К	1	37	0,65	0,8	24	18							
Всего по ШРА2	36	452	-	-	188,4	159,5	0,4	20	0,85	160	113	196	298

2.3 Определение расчетных электрических нагрузок системы искусственного освещения

Для системы общего искусственного освещения внутрицехового пространства принимаем к установке светильники серии НВО выпускаемые заводом Световые технологии с металлогалогенными лампами ДРИ. Данные светильники долговечны, обладают приемлемыми светотехническими характеристиками и имеют значительно меньшую по сравнению со светодиодными светильниками стоимость [9, 10].

Определим значение расчетной высоты:

$$h = H - h_p - h_c, \quad (5)$$
$$h = 9 - 0,8 - 1,2 = 7 \text{ м.}$$

Определим необходимое расстояние между рядами светильников:

$$L = \lambda \cdot h, \quad (6)$$
$$L = 1 \cdot 7 = 7 \text{ м.}$$

Найдем количество рядов светильников в помещении:

$$m = \frac{L_{ц}}{L}, \quad (7)$$
$$m = \frac{116,5}{7} = 16.$$

Расстояние от стены до близлежащего ряда светильников найдем по формуле:

$$l = \frac{L_{ц} - L \cdot m}{2}, \quad (8)$$

$$l = \frac{116,5 - 7 \cdot 16}{2} = 2,25 .$$

Принимаем число светильников в каждом ряду равным трем и расстояние между отдельными светильниками в ряду 5 метров.

Определим количество светильников внутри цеха:

$$N = mB = 16 \cdot 3 = 48 , \quad (9)$$

$$N = mB = 16 \cdot 3 = 48 .$$

Определим значение необходимого светового потока одной лампы:

$$\Phi = \frac{E_H K_{зан} Fz}{N\eta} , \quad (10)$$

$$\Phi = \frac{250 \cdot 1,5 \cdot 116,5 \cdot 15 \cdot 1,15}{48 \cdot 0,73} = 21507,12 \text{ лм.}$$

Из каталога производителя выбираем лампы типа ДРИ производства фирмы Osram 400 Вт с номинальным световым потоком $\Phi = 22000$ лм.

Найдем расчетную нагрузку от системы освещения:

$$P_{p.o} = P_{ycm} K_C K_{ПРА} , \quad (11)$$

$$P_{p.o} = 19,2 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 20,06 \text{ кВт.}$$

Определим полную мощность системы освещения:

$$S_{p.o} = \frac{P_{p.o}}{\cos \varphi}, \quad (12)$$

$$S_{p.o} = \frac{20,06}{0,85} = 25,08 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток:

в 3фазной сети:

$$I_{p.o} = \frac{P_{p.o}}{\sqrt{3}U_{л} \cos \varphi}, \quad (13)$$

в 1фазной сети:

$$I_{p.o} = \frac{P_{p.o}}{U_{\phi} \cos \varphi}, \quad (14)$$

Определим значение тока в линии от РУ ТП до щитов освещения:

$$I_{p.o1} = \frac{20,06}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 35,9 \text{ А.}$$

Найдем значения мощностей для остальных линий:

- Л2:

$$P_{p.o2} = 4,8 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 5,02 \text{ кВт},$$

- Л3-6, 8, 9, 11:

$$P_{p.o3} = 1,6 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 1,67 \text{ кВт},$$

- Л7:

$$P_{p,07} = 2,4 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 2,51 \text{ кВт},$$

- Л10:

$$P_{p,010} = 2,0 \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 2,1 \text{ кВт}.$$

Определим значения расчетных токов в линиях:

- Л2:

$$I_{p,02} = \frac{5,02}{0,22 \cdot 0,85} = 26,9 \text{ А},$$

- Л3-6, 8, 9, 11:

$$I_{p,03} = \frac{1,67}{0,22 \cdot 0,85} = 8,93 \text{ А},$$

- Л7:

$$I_{p,07} = \frac{2,51}{0,22 \cdot 0,85} = 13,4 \text{ А},$$

- Л10:

$$I_{p,011} = \frac{2,1}{0,22 \cdot 0,85} = 11,2 \text{ А}.$$

Допустимые потери напряжения в сети до электроприемников могут быть найдены по формулам:

$$\Delta U_{\delta} = U_{xx} - U_{\min} - \Delta U_T, \quad (15)$$

$$\Delta U_T = \beta(U_{am} \cos \varphi + U_{pm} \sin \varphi), \quad (16)$$

$$U_{am} = \left(\frac{P_k}{P_H} \right) 100\%, \quad (17)$$

$$U_{pm} = \sqrt{U_k^2 - U_{am}^2}, \quad (18)$$

$$U_{am} = \left(\frac{7,6}{630} \right) 100\% = 1,2,$$

$$U_{pm} = \sqrt{5,5^2 - 1,2^2} = 5,37.$$

$$\Delta U_T = 0,7(1,2 \cdot 0,6 + 5,37 \cdot 0,8) = 3,5.$$

$$\Delta U_{\delta} = 105 - 97,5 - 3,5 = 4\%.$$

что не превышает нормально допустимое отклонение напряжения 5%.

2.4 Определение числа и номинальной мощности трансформаторов КТП

«Правильный выбор числа и мощности трансформаторов имеет существенное значение для рационального построения СЭС. Число трансформаторов, как и число питающих линий, определяют в зависимости от категорий потребителей. Наиболее просты и дешевы однитрансформаторные подстанции. При наличии складского резерва или связей на вторичном напряжении эти подстанции обеспечивают надежное электроснабжение потребителей второй и третьей категорий.

Если основную часть нагрузки составляют потребители первой и второй категорий, то применяют двухтрансформаторные подстанции» [11, 12].

«Найдем номинальную мощность СТ» [11]:

$$S_{ном.т} = \frac{S_p}{NK_3}, \quad (19)$$

$$S_{ном.т} = \frac{857}{2 \cdot 0,7} = 612 \text{ кВА.}$$

Выбираем КТП с двумя силовыми трансформаторами типа ТМГ-630/10.
«Определим допустимую аварийную перегрузку трансформаторов»
[11]:

$$1,4S_{ном.т} \geq S_p. \quad (20)$$

$$1,4 \cdot 630 \text{ кВА} = 882 \text{ кВА,}$$

$$882 \text{ кВА} > 857 \text{ кВА.}$$

Перегрузка лежит в допустимых пределах.

2.5 Выбор распределительных шинопроводов

Принимаем к установке шинопроводы типа ШРА серии KLM-R. Выбор шинопроводов производим по расчетному току:

$$I_{ном} \geq I_p. \quad (21)$$

ШРА1:

$$250 \text{ А} \geq 169,91 \text{ А.}$$

ШРА2:

$$400 \text{ А} \geq 354,12 \text{ А}$$

Потери напряжения находим из выражения:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 I_p \cdot l \cdot 100}{U_{ном}} (r_{y\delta} \cos \varphi + x_{y\delta} \sin \varphi) . \quad (22)$$

ШРА1:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot 169,91 \cdot 0,1 \cdot 100}{380} (0,21 \cdot 0,64 + 0,21 \cdot 0,77) = 1,13\%$$

что не превышает 5%.

ШРА2:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot 354,12 \cdot 0,11 \cdot 100}{380} (0,15 \cdot 0,61 + 0,17 \cdot 0,79) = 2,0\%$$

что не превышает 5%.

Шинопровод должен быть проверен на динамическую устойчивость:

$$i_{y\delta, доп} > i_{y\delta} , \quad (23)$$

ШРА1:

$$40 \text{ кА} > 5,78 \text{ кА} .$$

ШРА2:

$$40 \text{ кА} > 6,18 \text{ кА} .$$

Выбранные шинопроводы прошли необходимые проверки.

2.6 Определение значений токов КЗ в сетях 0,4 кВ

«В результате короткого замыкания резко снижается сопротивление электрической цепи, так как полные сопротивления фазовых нагрузок одной, двух или всех трех фаз оказываются зашунтированными вследствие соединения проводов «накоротко». В точке короткого замыкания сопротивление фаз источника составляет лишь небольшую долю сопротивления нагрузки. Ток в короткозамкнутой цепи намного превышает рабочий ток. Наибольший ток короткого замыкания возникает при трехфазном коротком замыкании, поэтому данный ток и определяют для выбора электрического оборудования» [11, 13].

Составим расчетную схему электрической сети для нахождения значений токов КЗ (рисунок 1).

Сопротивления всех элементов СЭС, вошедших в расчетную схему со стороны ВН трансформатора, приводятся к стороне НН по формулам:

$$r_{HH} = r_{BH} \left(\frac{U_{ном.НН}}{U_{ном.ВН}} \right)^2, \quad (24)$$

$$r_{\Sigma HH} = 1370 \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 2,19 \text{ мОм},$$

$$x_{HH} = x_{BH} \left(\frac{U_{ном.НН}}{U_{ном.ВН}} \right)^2. \quad (25)$$

$$x_{\Sigma HH} = 48,9 \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,08 \text{ мОм}.$$

«Найдем сопротивление трансформатора» [13]:

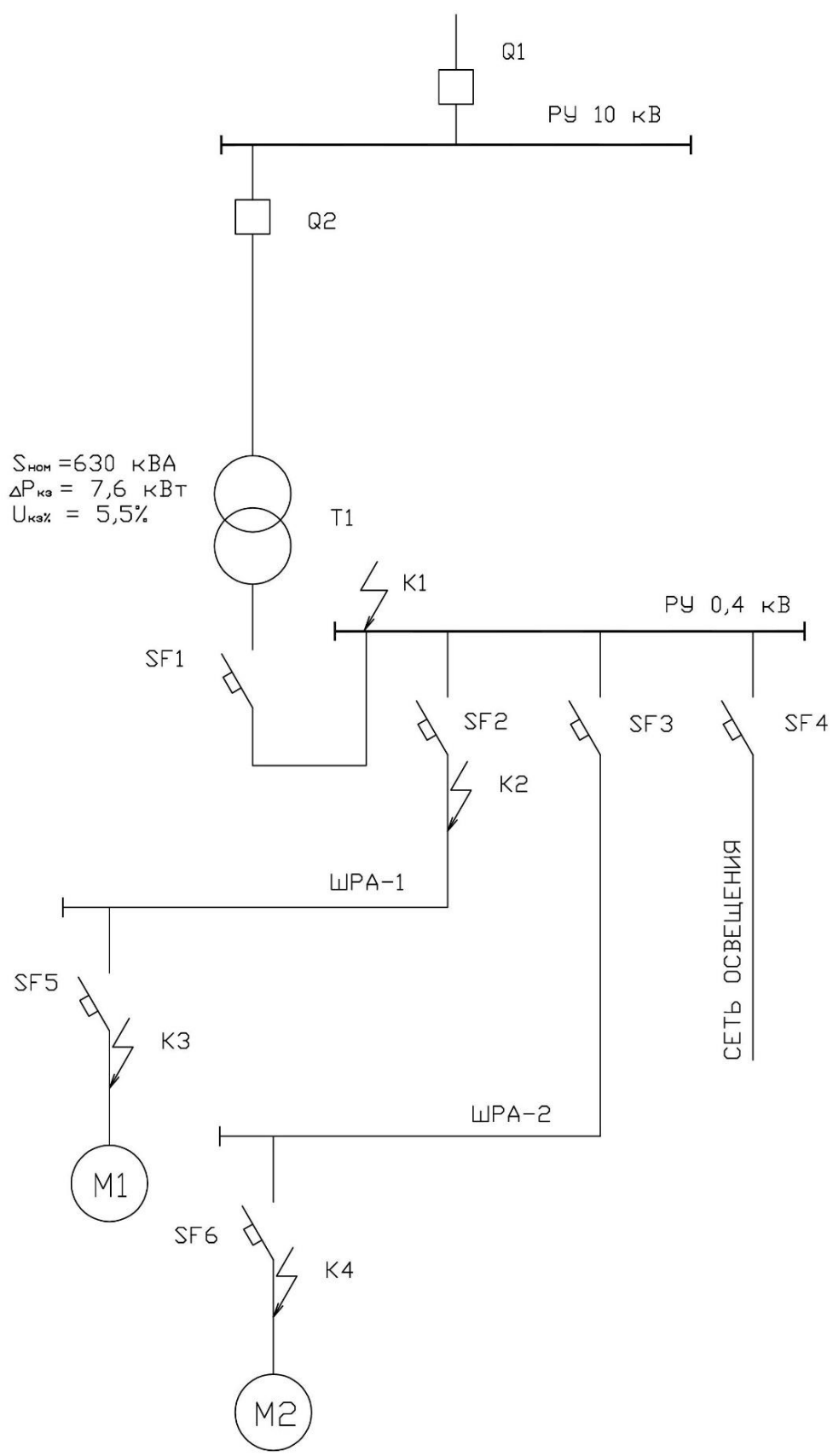


Рисунок 1 – Расчетная схема электрической сети для определения токов КЗ

$$r_{ЦТ} = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot U_{ном}^2}{S_{ном.т}^2}, \quad (26)$$

$$r_{ЦТ} = \frac{7,6 \cdot 400^2}{630^2} = 3,06 \text{ мОм},$$

$$x_{ЦТ} = \sqrt{\left(\frac{u_k}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{\kappa}}{S_{ном.т}}\right)^2} \frac{U_{ном}^2}{S_{ном.т}}, \quad (27)$$

$$x_{ЦТ} = \sqrt{\left(\frac{10,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{7,6}{630}\right)^2} \cdot \frac{400^2}{630} = 14 \text{ мОм}.$$

Суммарное активное сопротивление для точки К1 определим из выражения:

$$r_{\Sigma K1} = r_{\Sigma HH} + r_{ЦТ} + r_{доб}, \quad (28)$$

$$r_{\Sigma K1} = 2,19 + 3,06 + 0,48 = 5,73 \text{ мОм}.$$

«Найдем значение тока трехфазного КЗ» [13]:

$$I_K = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{\Sigma K}^2 + x_{\Sigma K}^2}}, \quad (29)$$

$$I_{K1} = \frac{400}{1,73 \sqrt{5,73^2 + 14,34^2}} = 15,02 \text{ кА}.$$

«Определим ударный ток КЗ» [13]:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_K, \quad (30)$$

Аналогичным образом определим значения тока трехфазного короткого замыкания и ударный ток в точке К2.

Для нахождения суммарного сопротивления до точки К3 определим сопротивления шинпровода:

$$r_{ш} = r_{уд} \cdot l \cdot 10^3, \quad (31)$$

$$r_{ш1} = 0,2 \cdot 0,12 \cdot 10^3 = 24 \text{ мОм.}$$

$$x_{ш} = x_{уд} \cdot l \cdot 10^3, \quad (32)$$

$$x_{ш1} = 0,1 \cdot 0,12 \cdot 10^3 = 12 \text{ мОм.}$$

Найдем значения суммарных сопротивлений до точки К3:

$$r_{\Sigma К3} = r_{\Sigma НН} + r_{ЦТ} + r_{ш1} + r_{доб}, \quad (33)$$

$$r_{\Sigma К3} = 2,19 + 3,06 + 24 + 0,85 = 30,1 \text{ мОм.}$$

$$x_{\Sigma К3} = x_{\Sigma НН} + x_{ЦТ} + x_{ш1} + x_{доб}, \quad (34)$$

$$x_{\Sigma К3} = 0,08 + 14 + 12 + 0,36 = 26,44 \text{ мОм.}$$

Найдем значение тока трехфазного КЗ в точке К3:

$$I_{К3} = \frac{400}{1,73 \sqrt{30,1^2 + 26,44^2}} = 5,78 \text{ кА.}$$

Найдем значение ударного тока в точке К3:

$$i_{уд3} = 1,05 \cdot 1,41 \cdot 5,78 = 6,1 \text{ кА.}$$

Аналогичным образом определим значения тока трехфазного короткого замыкания и ударный ток в точке К4.

Результаты определения токов КЗ заносим в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты определения токов КЗ

Точка короткого замыкания	$r_{\Sigma K}$, МОм	x_{Σ} , МОм	I_K , кА	i_{y0} , кА
К1	5,7	14,4	15	21,2
К2	6,1	14,4	14,7	19,1
К3	30,1	26,4	5,8	6,1
К4	24,3	28,4	6,2	6,8

2.7 Выбор электрических аппаратов в сети 0,4 кВ

2.7.1 Выбор автоматических выключателей (АВ)

Выбираем автоматические выключатели, установленные в КТП. Проверим вводной выключатель SF1. При выборе проверяются следующие параметры [14-16]:

- соответствие номинального напряжения АВ месту установки:

$$U_{ном.в.} = U_{ном.с.} \quad (35)$$

$$380 В = 380 В.$$

- номинальный ток АВ больше расчетного тока в месте установки:

$$I_{ном.в.} \geq I_{ном.} \quad (36)$$

$$800 А > 524,03 А.$$

- уставка теплового расцепителя:

$$I_{ном.рас.т} \geq 1,3I_{ном.} \quad (37)$$

$$720 А > 681,24 А.$$

- уставка электромагнитного расцепителя:

$$I_{ном.рас} \geq 1,2 I_{ПИК} , \quad (38)$$

$$1600 A > 1301,3 A.$$

$$I_{ПИК} = I_{пуск.маx} + (I_P + k_{II} I_{ном.маx}) , \quad (39)$$

$$I_{ПИК} = 5 \cdot 128,7 + (524,03 - 0,65 \cdot 128,7) = 1084,4 A ,$$

$$I_{ном.рас} > 1,2 \cdot 1084,4 = 1301,3 A.$$

- коммутационная способность:

$$I_{откл.ном.в.} \geq I_{К.маx} . \quad (40)$$

$$65 кА > 15 кА.$$

Принимаем к установке АВ типа ВА-СЭЩ-В АН-08D.

Проверим выключатели SF2 и SF3 для защиты шинопроводов. При выборе проверяются следующие параметры:

- соответствие номинального напряжения АВ месту установки по (35):

$$380 B = 380 B .$$

- номинальный ток АВ больше расчетного тока в месте установки по (36):

$$400 A > 169,9 A .$$

- уставка теплового расцепителя по (37):

$$240 A > 220,8 A .$$

- уставка электромагнитного расцепителя (38):

$$1200 A > 840 A.$$

- коммутационная способность по (40):

$$65 \text{ кА} > 14,7 \text{ кА}.$$

Принимаем к установке АВ типа ВА-СЭЦ-В АН-06D.

Проверим выключатель SF4 для защиты кабельной сети освещения. При выборе проверяются следующие параметры:

- соответствие номинального напряжения АВ месту установки по (35):

$$380 B = 380 B.$$

- номинальный ток АВ больше расчетного тока в месте установки по (36):

$$630 A > 354.1 A.$$

- уставка теплового расцепителя по (37):

$$504 A > 460 A.$$

- уставка электромагнитного расцепителя (38):

$$1260 A > 1038 A.$$

- коммутационная способность по (40):

$$65 \text{ кА} > 14,7 \text{ кА.}$$

Принимаем к установке АВ типа ВА-СЭЩ-В АН-06D.

Выбор и проверку АВ, размещаемых на шинпроводах выполняем аналогичным образом. Результаты заносим в таблицу 3.

Таблица 3 – Результат выбора и проверки АВ, размещаемых на шинпроводах

№ ЭП на плане корпуса	$P_{ном}, \text{кВт}$	$\cos \varphi_{ном}$	$I_{ном} (I_p), \text{А}$	$I_{пуск}, \text{А}$	Тип АВ - ТS, $I_{рас.м}, \text{А}$ $I_{рас.э}, \text{А}$
1	1	0,65	2,34	11,7	100 15 А; 135 А
2,30	3	0,65	7,02	35,1	100 15 А; 135 А
3, 14, 15, 26	12	0,6	30,4	91,3	100 40 А; 360 А
4,23	2	0,5	6,1	30,5	100 15 А; 135 А
5,7,27	4	0,5	12,2	61	100 15 А; 135 А
6	45	0,6	114,1	570,4	160 170 А; 1190 А
8	25	0,65	58,5	292,5	100 60 А; 540 А
9,24	15	0,5	45,6	228,2	100 50 А; 450 А
10	11	0,5	33,5	167,3	100 40 А; 360 А
11,21	40	0,8	76,1	380,3	160 120 А; 840 А
12,28	5	0,5	15,2	76,1	100 20 А; 180 А
13,17	10	0,5	30,4	152,1	100 40 А; 360 А
16	6	0,5	18,3	91,3	100 20 А; 180 А
18	1	0,5	3,04	15,2	100 15 А; 135 А
19,31	40	0,5	121,7	608,5	160 150 А; 1050 А
20	5	0,65	11,7	58,5	100 15 А; 135 А
22	55	0,65	128,7	643,6	160 150 А; 1050 А
25	14	0,6	35,5	106,5	100 40 А; 360 А

Таким образом, в разделе для электроснабжения электроприемников выбрана магистральная схема, определены нагрузки распределительных шинпроводов и системы искусственного освещения, выбраны КТП с двумя силовыми трансформаторами типа ТМГ-630/10 и шинпроводы типа ШРА серии KLM-R, произведен расчет токов короткого замыкания, осуществлены выбор и проверка автоматических выключателей.

3 Определение параметров внутризаводских сетей 10 кВ

3.1 Определение токов КЗ в сетях выше 1000 В

Производить расчет токов короткого замыкания будем в о.е. За базисную мощность принимаем $S_{\sigma} = S_{ном.т} = 6,3 \text{ МВА}$, а за базисное напряжение $U_{\sigma} = U_{cp} = 10,5 \text{ кВ}$. На рисунке 2 представлены расчетная схема и ее схема замещения с указанием точек КЗ.

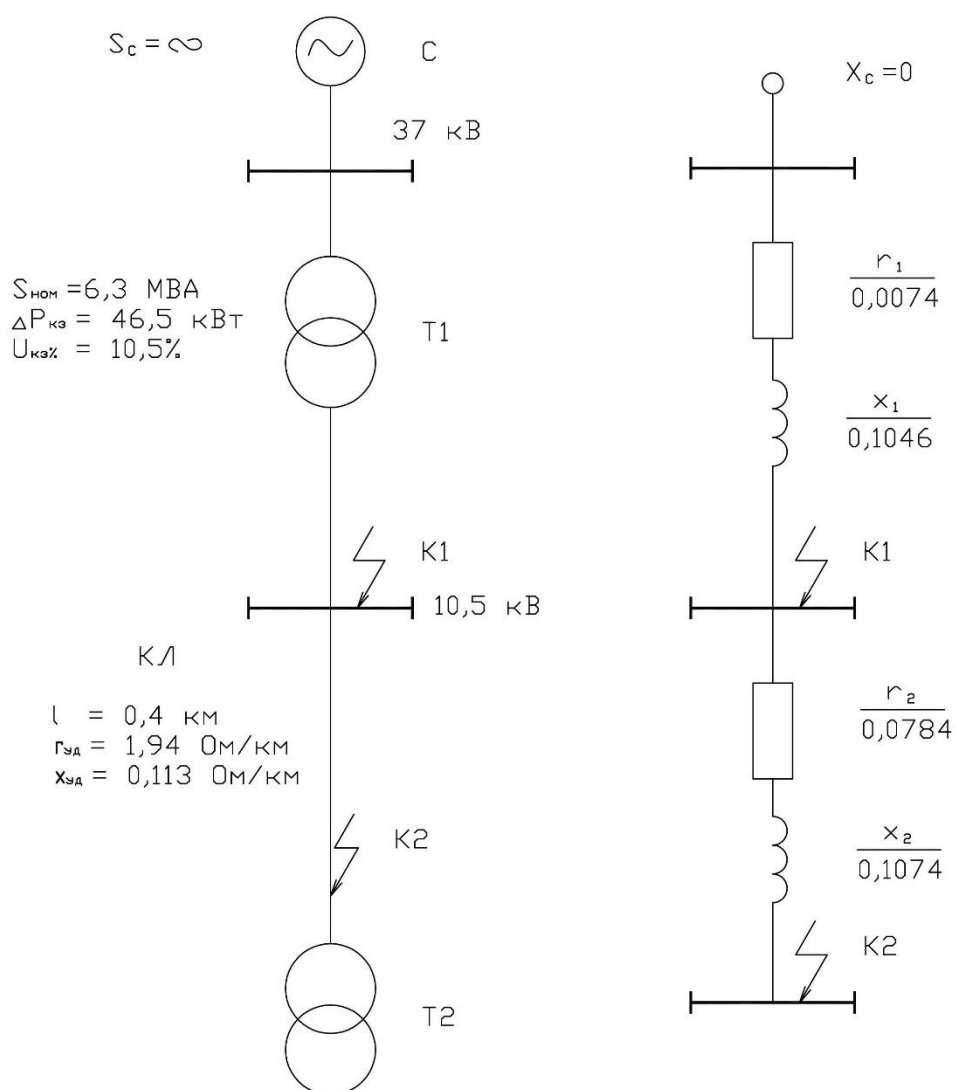


Рисунок 2 – Расчетная схема и ее схема замещения с указанием точек КЗ

«Найдем значение базисного тока» [17]:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}}.$$

$$I_{\sigma} = \frac{6,3}{1,73 \cdot 10,5} = 0,347 \text{ кА.}$$

«Найдем значение тока КЗ» [17]:

$$I_K = \frac{I_{\sigma}}{Z_{\Sigma}^*}, \quad (41)$$

Определим значение сопротивлений элементов на схеме замещения:

- для силового трансформатора:

$$r_{1*} = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot S_{\sigma}}{S_{\text{ном.т}}^2}, \quad (42)$$

$$r_{1*} = \frac{46,5 \cdot 6300}{6300^2} = 0,0074,$$

$$x_{1*} = \sqrt{\left(\frac{U_k}{100}\right)^2 - r_{1*}^2} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\text{ном.т}}}, \quad (43)$$

$$x_{1*} = \sqrt{\left(\frac{10,5}{100}\right)^2 - 0,0074^2} \cdot \frac{6300}{6300} = 0,1046.$$

- для кабельной линии:

$$r_{2*} = r_{\text{уд}} \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2}, \quad (44)$$

$$r_{2*} = 1,94 \cdot 0,4 \cdot \frac{6,3}{10,5^2} = 0,022,$$

$$x_{2*} = x_{y\partial} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2}, \quad (45)$$

$$x_{2*} = 0,113 \cdot 0,4 \cdot \frac{6,3}{10,5^2} = 0,003.$$

Тогда общее сопротивление элементов до точки К1:

$$r_{\Sigma 1*} = r_{1*} = 0,0074,$$

$$x_{\Sigma 1*} = x_{1*} = 0,1046.$$

Общее сопротивление элементов до точки К2:

$$r_{\Sigma 2*} = r_{1*} + r_{2*}, \quad (46)$$

$$r_{\Sigma 2*} = 0,0074 + 0,022 = 0,029,$$

$$x_{\Sigma 2*} = x_{1*} + x_{2*}, \quad (47)$$

$$x_{\Sigma 2*} = 0,1046 + 0,003 = 0,108.$$

Значение токов КЗ определим по формуле (41):

$$I_{K1} = \frac{0,347}{\sqrt{0,0074^2 + 0,1046^2}} = 3,31 \text{ кА},$$

$$I_{K2} = \frac{0,347}{\sqrt{0,029^2 + 0,108^2}} = 2,89 \text{ кА}.$$

Найдем значение ударного тока КЗ:

$$i_{y\partial} = K_{y\partial} \sqrt{2} I_{\Pi 0}, \quad (48)$$

$$i_{y\partial 1} = 1,72\sqrt{2} \cdot 3,31 = 6,49 \text{ кА},$$

$$i_{y\partial 2} = 1,18\sqrt{2} \cdot 2,89 = 4,8 \text{ кА}.$$

3.2 Определение параметров кабельной линии 10 кВ

Выберем кабель от ГПП до ТПЗ.

Найдем значение расчетного тока в нормальном режиме:

$$I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (49)$$

$$I_p = \frac{857}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 25 \text{ А}.$$

Найдем значение тока в послеаварийном режиме при отключении одного из трансформаторов:

$$I_{\max, p} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (50)$$

$$I_{\max, p} = \frac{857}{\sqrt{3} \cdot 10} = 50 \text{ А}.$$

Определим значение длительно допустимого тока в кабельной линии с учетом поправочных коэффициентов:

$$I'_{дон} = K_{дон} K_{с,н} I_{дон}, \quad (51)$$

$$I'_{дон} = 1,25 \cdot 0,9 \cdot 75 = 84,4 \text{ А}$$

По расчетному току находим требуемое сечение кабельной линии:

$$I'_{\text{дон}} \geq I_{\text{max},p} \quad (52)$$

$$84 \text{ A} > 50 \text{ A}.$$

Принимаем к установке кабельную линию, состоящую из двух кабелей АПВБП с сечением жилы 16 мм².

Определим потери напряжения в кабеле в нормальном режиме:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{y\partial} \cos \varphi + x_{y\partial} \sin \varphi), \text{ B} \quad (53)$$

$$\Delta U = 1,73 \cdot 25 \cdot 0,4(1,94 \cdot 0,96 + 0,113 \cdot 0,28) = 52 \text{ B}$$

Определим потери напряжения в кабеле в послеаварийном режиме:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\text{max},p} \cdot l \cdot (r_{y\partial} \cos \varphi + x_{y\partial} \sin \varphi), \text{ B} \quad (54)$$

$$\Delta U = 1,73 \cdot 50 \cdot 0,4(1,94 \cdot 0,96 + 0,113 \cdot 0,28) = 104 \text{ B}$$

Потери напряжения находятся в допустимых пределах.

Произведен расчет токов короткого замыкания в сетях 10 кВ предприятия, выбрана кабельная линия, состоящая из двух кабелей АПВБП с сечением жилы 16 мм², для которой определены потери напряжения в нормальном и послеаварийном режимах.

4 Выбор трансформаторов ГПП и основного электрооборудования

4.1 Электрические нагрузки трансформаторов ГПП

Суммарные нагрузки по КТП предприятия сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Суммарные нагрузки по КТП предприятия

№	№ КТП	$P_{уст},$ кВт	K_c	$P_p,$ кВт	$\cos\varphi$	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА
1	№1	1330	0,5	665	0,7	678	952
2	№2	937	0,7	656	0,8	480	820
3	№3	1307	0,6	784	0,9	376	980
4	№4	893	0,4	357	0,65	418	857
5	№5	3122	0,5	1561	0,7	1592	2230
6	№6	1400	0,6	840	0,7	857	1200
7	№7	788	0,65	473	0,8	355	591
8	№8	780	0,8	624	0,8	480	780
	Итоговая мощность на шинах НН ГПП:	-	-	-	-	-	8410

4.2 Выбор трансформаторов на ГПП

Определим значение номинальной мощности силового трансформатора на ГПП:

$$S_{mp} \geq \frac{S_{p\Sigma}}{1,4(n-1)}, \quad (55)$$

$$S_{mp} \geq \frac{8442}{1,4(2-1)} = 6030 \text{ кВА}.$$

Выбираем силовые трансформаторы с номинальной мощностью 6,3 МВА. Проверим выбранный трансформатор на перегрузку при отключении второго трансформатора:

$$1,4 \cdot S_{mp} \geq S_{p\Sigma}, \text{ кВА}. \quad (56)$$

$$1,4 \cdot 6300 \text{ кВА} > 8442 \text{ кВА}.$$

Такую перегрузку выбранный трансформатор способен выдерживать по 6 часов каждый день на протяжении 5 дней.

4.3 Выбор высоковольтного выключателя

На стороне ВН ГПП выбираем вакуумный выключатель типа ВВН-СЭЦ-35-25/1000УХЛ1.

«Выбираем по номинальному напряжению» [18, 19]:

$$U_{ном.в} \geq U_{ном.уст},$$

$$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ}.$$

«Выбираем по номинальному току» [18]:

$$I_{ном.в} \geq I_p,$$

$$1000 \text{ А} > 483 \text{ А}.$$

«Проверяем по току отключения» [18]:

$$I_{ном.о} \geq I_K,$$
$$25 \text{ кА} > 5,6 \text{ кА}.$$

«Проверяем на электродинамическую стойкость» [18]:

$$i_{ном.дин} \geq i_y,$$
$$63 \text{ кА} \geq 14,3 \text{ кА}.$$

Выбранный высоковольтный выключатель прошел необходимые проверки.

На стороне НН ГПП для защиты линии к КТПЗ выбираем вакуумный выключатель типа ВВУ-СЭЦ-10-20/630УЗ.

«Выбираем по значению номинального напряжения на стороне НН ГПП» [18]:

$$U_{ном.в} \geq U_{ном.уст},$$
$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}.$$

«Выбираем по номинальному току, протекающему к КТПЗ» [18]:

$$I_{ном.в} \geq I_p,$$
$$630 \text{ А} > 49,5 \text{ А}.$$

«Проверяем по значению максимального тока отключения» [18]:

$$I_{ном.о} \geq I_K,$$
$$20 \text{ кА} > 2,89 \text{ кА}.$$

«Проверяем выбранный выключатель на электродинамическую устойчивость» [18]:

$$i_{\text{ном.дин}} \geq i_y,$$

$$52 \text{ кА} \geq 4,8 \text{ кА}.$$

Выбранный высоковольтный выключатель прошел необходимые проверки.

Аналогичным образом выбираем и проверяем остальные ВВ на стороне НН ГПП, результаты выбора заносим в таблицу 5. На всех фидерах устанавливаем ВВ типа ВВУ-СЭЦ-10-20/630У3.

Таблица 5 – Результаты выбора высоковольтных выключателей на отходящих линиях

Линия к	Условие выбора или проверки	Расчетное значение	Данные производителя
КТП1	$U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.уст}}$	10 кВ	10 кВ
	$I_{\text{ном.в}} \geq I_p$	55 А	630 А
	$I_{\text{ном.о.}} \geq I_{K3}$	3,16 кА	20 кА
	$i_{\text{ном.дин}} \geq i_y$	6,23 кА	52 кА
КТП2	$U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.уст}}$	10 кВ	10 кВ
	$I_{\text{ном.в}} \geq I_p$	46,2 А	630 А
	$I_{\text{ном.о.}} \geq I_{K3}$	2,31 кА	20 кА
	$i_{\text{ном.дин}} \geq i_y$	3,51 кА	52 кА
КТП3	$U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.уст}}$	10 кВ	10 кВ
	$I_{\text{ном.в}} \geq I_p$	56,6 А	630 А
	$I_{\text{ном.о.}} \geq I_{K3}$	3,13 кА	20 кА
	$i_{\text{ном.дин}} \geq i_y$	6,1 кА	52 кА
КТП4	$U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.уст}}$	10 кВ	10 кВ
	$I_{\text{ном.в}} \geq I_p$	49,5 А	630 А
	$I_{\text{ном.о.}} \geq I_{K3}$	2,89 кА	20 кА
	$i_{\text{ном.дин}} \geq i_y$	4,8 кА	52 кА

Продолжение таблицы 5

Линия к	Условие выбора или проверки	Расчетное значение	Данные производителя
КТП5	$U_{ном.в} \geq U_{ном.уст}$	10 кВ	10 кВ
	$I_{ном.в} \geq I_p$	129 А	630 А
	$I_{ном.о.} \geq I_{КЗ}$	2,96 кА	20 кА
	$i_{ном.дин.} \geq i_y$	5,4 кА	52 кА
КТП6	$U_{ном.в} \geq U_{ном.уст}$	10 кВ	10 кВ
	$I_{ном.в} \geq I_p$	69 А	630 А
	$I_{ном.о.} \geq I_{КЗ}$	3,02 кА	20 кА
	$i_{ном.дин.} \geq i_y$	5,5 кА	52 кА
КТП7	$U_{ном.в} \geq U_{ном.уст}$	10 кВ	10 кВ
	$I_{ном.в} \geq I_p$	34,2 А	630 А
	$I_{ном.о.} \geq I_{КЗ}$	2,48 кА	20 кА
	$i_{ном.дин.} \geq i_y$	3,7 кА	52 кА
КТП8	$U_{ном.в} \geq U_{ном.уст}$	10 кВ	10 кВ
	$I_{ном.в} \geq I_p$	46,2 А	630 А
	$I_{ном.о.} \geq I_{КЗ}$	2,31 кА	20 кА
	$i_{ном.дин.} \geq i_y$	3,51 кА	52 кА

4.4 Выбор разъединителей 35 кВ

Выбираем для размещения в ОРУ 35 кВ разъединители типа РДЗ-СЭЦ-35. Выбранные разъединители проверяются:

«По напряжению установки» [18]:

$$U_{уст} \leq U_{ном},$$

$$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ}.$$

«По длительному току» [18]:

$$I_p \leq I_{ном},$$

$$243 \text{ А} < 630 \text{ А},$$

$$I_{max} \leq I_{ном}.$$

$$483 A < 630 A.$$

«На электродинамическую стойкость» [18]:

$$i_y \leq i_{дин},$$

$$14,3 кА < 64 кА.$$

Выбранный разъединитель прошел необходимые проверки.

4.5 Выбор шин в РУ 10 кВ

Принимаем шины из алюминиевого сплава размером 40x5 мм². Шины выбираются по длительно допустимому току:

$$I_{дон} \geq I_p . \tag{57}$$

$$508 A \geq 486 A.$$

При этом справочное значение длительно допустимого тока корректируется с помощью поправочных коэффициентов:

$$I_{дон} = k_1 k_2 k_3 I_{дон,о}, \tag{58}$$

$$I_{дон} = 1 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot 540 = 508 A.$$

«Максимальное усилие на изгиб» [18]:

$$F_{дон} = \frac{10\sigma_{дон}W}{l}, \tag{59}$$

$$F_{\text{дон}} = \frac{10 \cdot 650 \cdot 0,17 \cdot 4 \cdot 0,5^2}{120} = 9,2 \text{ кгс}.$$

«Расчетное усилие от динамического воздействия тока КЗ» [18]:

$$F_p = 1,76 \cdot i_y^2 \frac{l}{a} \cdot 10^{-2}, \quad (60)$$

$$F_p = 1,76 \cdot 6,5 \cdot \frac{120}{50} \cdot 10^{-2} = 0,28 \text{ кгс}.$$

«Максимальное расчетное напряжение в шинах» [18]:

$$\sigma_p = \frac{F_p l}{10W}. \quad (61)$$

$$\sigma_p = \frac{0,28 \cdot 120}{10 \cdot 0,17 \cdot 4 \cdot 0,5} = 9,88 \text{ кгс} / \text{см}^2.$$

Проверяем шины на механическую прочность:

$$\sigma_{\text{дон}} \geq \sigma_p. \quad (62)$$

$$650 \text{ кгс} / \text{см}^2 > 9,88 \text{ кгс} / \text{см}^2.$$

Выбранная шина прошла проверку на механическую прочность.

4.6 Выбор изоляторов 10 кВ

Выбираем опорные изоляторы ОИ-10-375УЗ и проверяем их по условиям:

«По номинальному напряжению» [18]:

$$U_{уст} \leq U_{ном}.$$

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}.$$

«По допустимой нагрузке на головку изолятора» [18]:

$$F_{расч} \leq F_{дон},$$

$$175 \text{ кгс} < 225 \text{ кгс}.$$

«Допустимая нагрузка на головку изолятора» [18]:

$$F_{дон} = 0,6 F_{разр},$$

$$F_{дон} = 375 \cdot 0,6 = 225 \text{ кгс}.$$

«Расчетная сила» [18]:

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{i_y^2}{a} \cdot l \cdot k_h \cdot 10^{-6},$$

$$F_{расч} = 1,73 \cdot \frac{6490^2}{0,5} \cdot 1,2 \cdot 10^{-6} = 175 \text{ кгс}.$$

Изолятор ОИ-10-375У3 прошел проверку.

Выбираем проходные изоляторы ИП-10/630-750. и проверяем их по условиям:

«По номинальному напряжению» [18]:

$$U_{уст} \leq U_{ном},$$

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}.$$

«По номинальному току» [18]:

$$I_{max} \leq I_{ном} .$$
$$486 A < 630 A.$$

«По допустимой нагрузке» [18]:

$$F_{расч} \leq F_{дон} .$$
$$175 кгс < 450 кгс.$$

«Допустимая нагрузка на головку изолятора» [18]:

$$F_{дон} = 0,6 F_{разр},$$
$$F_{дон} = 750 \cdot 0,6 = 450 кгс.$$

«Расчетная сила» [18]:

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{i_y^2}{a} \cdot l \cdot 10^{-6},$$
$$F_{расч} = 1,73 \cdot \frac{6490^2}{0,5} \cdot 1,2 \cdot 10^{-6} = 175 кгс.$$

Изолятор ИП-10/630-750. прошел проверку.

4.7 Выбор измерительных трансформаторов тока

Выбираем измерительный трансформатор тока (ТТ) типа ТВТ-35 работающий в классе точности 0,5 при максимальной нагрузке вторичных цепей 20ВА.

«Выбираем ТТ по номинальному напряжению» [18]:

$$U_{уст} \leq U_{ном},$$

$$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ}.$$

«Выбираем ТТ по номинальному току» [18]:

$$I_{max.p} \leq I_{ном.т.т},$$

$$140 \text{ А} < 150 \text{ А}.$$

Вторичная нагрузка ТТ включает 2 амперметра и счетчики активной и реактивной энергии с максимальной суммарной нагрузкой на фазу 4 ВА.

«Суммарное сопротивление приборов» [18]:

$$\Sigma r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_{2ном.т.т}^2},$$

$$\Sigma r_{приб} = \frac{4}{5^2} = 0,16 \text{ Ом}.$$

«Найдем полное сопротивление внешней цепи» [18]:

$$Z_{p2} = \Sigma r_{приб} + r_{дон} + r_{конт},$$

$$Z_{p2} = 0,16 + 0,484 + 0,1 = 0,744 \text{ Ом}.$$

«Определим расчетную нагрузку вторичной обмотки ТТ» [18]:

$$S_{2p} = I_{ном2}^2 Z_{p2},$$

$$S_{2p} = 5^2 \cdot 0,744 = 18,6 \text{ ВА}.$$

«Проверяем по нагрузке вторичной цепи» [18]:

$$S_{2p} \leq S_{2ном},$$
$$18,6 \text{ ВА} < 20 \text{ ВА}.$$

«Минимальное сечение проводов должно быть» [18]:

$$s_p = \frac{\rho \cdot l_p}{r_{дон}},$$
$$s_p = \frac{0,0149 \cdot 40}{0,484} = 1,23 \text{ мм}^2.$$

Выбираем кабель марки АКВРГ с сечением 2,5 мм².

«Проверяем ТТ на электродинамическую стойкость» [18]:

$$i_y \leq k_{дин} \sqrt{2} I_{ном.т.т} ,$$
$$i_{уд.дон} = 280\sqrt{2} \cdot 150 = 59,22 \text{ кА},$$
$$5,6 \text{ кА} \leq 59,22 \text{ кА}.$$

Выбранный ТТ ТВТ-35 прошел необходимые проверки.

На стороне НН ГПП выбираем трансформаторы тока типа ТШЛП-10 с классом точности 0,5.

«Выбираем ТТ по номинальному напряжению» [18]:

$$U_{уст} \leq U_{ном},$$
$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}.$$

«Выбираем ТТ по номинальному току» [18]:

$$I_{max.p} \leq I_{ном.т.т},$$

$$486 A < 1000 A.$$

Вторичная нагрузка ТТ включает 2 амперметра и счетчики активной и реактивной энергии с максимальной суммарной нагрузкой на фазу 4 ВА.

«Суммарное сопротивление приборов» [18]:

$$\Sigma r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_{2ном.т.т}^2},$$

$$\Sigma r_{приб} = \frac{4}{5^2} = 0,16 \text{ Ом}.$$

«Найдем полное сопротивление внешней цепи» [18]:

$$Z_{p2} = \Sigma r_{приб} + r_{дон} + r_{конт},$$

$$Z_{p2} = 0,16 + 0,148 + 0,1 = 0,408 \text{ Ом}.$$

«Определим расчетную нагрузку вторичной обмотки ТТ» [18]:

$$S_{2p} = I_{ном2}^2 Z_{p2},$$

$$S_{2p} = 5^2 \cdot 0,408 = 10,2 \text{ ВА}.$$

«Проверяем по нагрузке вторичной цепи» [18]:

$$S_{2p} \leq S_{2ном},$$

$$10,2 \text{ ВА} < 20 \text{ ВА}.$$

«Минимальное сечение проводов должно быть» [18]:

$$s_p = \frac{\rho \cdot l_p}{r_{доп}},$$
$$s_p = \frac{0,0121 \cdot 20}{0,148} = 1,64 \text{ мм}^2.$$

Выбираем кабель марки АКВРГ с сечением 2,5 мм².

«Проверяем ТТ на электродинамическую стойкость» [18]:

$$i_y \leq k_{дин} \sqrt{2} I_{ном.т.т} ,$$
$$i_{уд.доп} = 630 \sqrt{2} \cdot 1000 = 34,2 \text{ кА} ,$$
$$6,49 \text{ кА} < 34,2 \text{ кА}.$$

Выбранный ТТ ТШЛП-10 прошел необходимые проверки.

4.8 Выбор измерительных трансформаторов напряжения

На стороне ВН ГПП выбираем трансформаторы напряжения типа НОЛ-СЭЩ-35 работающий в классе точности 0,5 при максимальной нагрузке вторичных цепей 75ВА.

«Выбираем ТН по номинальному напряжению» [18]:

$$U_{уст} \leq U_{ном},$$
$$35 \text{ кВ} = 35 \text{ кВ}.$$

Вторичная нагрузка ТН включает вольтметр и по одному счетчику активной и реактивной энергии с максимальной суммарной нагрузкой 14 Вт и

24,2 вар.

Найдем суммарное значение нагрузки измерительных приборов, подключенных к ТН:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\Sigma P_{\text{приб}})^2 + (\Sigma Q_{\text{приб}})^2},$$
$$S_{2\Sigma} = \sqrt{14^2 + 24,2^2} = \sqrt{196 + 585,64} = 30 \text{ ВА.}$$

«Проверяем по нагрузке вторичной цепи» [18]:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном}},$$
$$30 \text{ ВА} < 75 \text{ ВА.}$$

Поскольку условие соблюдается, то выбранный ТН будет работать в классе точности 0,5.

На стороне ВН ГПП выбираем трансформаторы напряжения типа НОЛ-СЭЩ-10 работающий в классе точности 0,5 при максимальной нагрузке вторичных цепей 150ВА.

«Выбираем ТН по номинальному напряжению» [18]:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}},$$
$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ.}$$

Вторичная нагрузка ТН включает два вольтметра и по пять счетчиков активной и реактивной энергии с максимальной суммарной нагрузкой 54 Вт и 125,8 вар.

Найдем суммарное значение нагрузки измерительных приборов, подключенных к ТН:

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

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{54^2 + 125,8^2} = \sqrt{2916 + 15826} = 136,9 \text{ ВА.}$$

«Проверяем по нагрузке вторичной цепи» [18]:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{ном}},$$

$$136,9 \text{ ВА} < 150 \text{ ВА.}$$

Поскольку условие соблюдается, то выбранный ТН будет работать в классе точности 0,5.

4.9 Выбор ОПН

На стороне ВН ГПП выбираем ограничители перенапряжений нелинейные типа ОПН -35У1.

На стороне НН ГПП выбираем ограничители перенапряжений нелинейные типа ОПН -10.

Определены электрические нагрузки трансформаторов ГПП по которым была выбрана их номинальная мощность с учетом допустимого коэффициента загрузки в послеаварийном режиме при отключении одного из трансформаторов. Выбраны высоковольтные выключатели 35 кВ в соответствии с рабочими значениями напряжения и тока и проверены на стойкость к воздействию токов короткого замыкания. Выбраны высоковольтные выключатели 10 кВ, устанавливаемые на отходящих фидерах к КТП предприятия. Выбраны разъединители, жесткая ошиновка, изоляторы, измерительные трансформаторы тока и напряжения, а также нелинейные ограничители перенапряжений. Все электрооборудование не только выбиралось по номинальным параметрам, но и было проверено на стойкость к токам короткого замыкания.

5 Защитное заземление

«Заземление выполняют, используя заземляющее устройство (ЗУ), которое состоит из заземлителя и заземляющих проводников. Заземлитель - совокупность металлических проводников (электродов), надежно соединенных между собой и находящихся в соприкосновении с землей в специальном месте. Заземляющие проводники соединяют заземленные части ЭУ с заземлителем. Защиту ЭУ с помощью ЗУ выполняют, если напряжение на ней превышает 50В переменного или 120В постоянного тока. В ряде случаев, оговоренных в ПУЭ, такая защита применяется и при более низких напряжениях» [20, 21].

Параметры заземления определяем для РУ 10 кВ ГПП которое совмещено с двухтрансформаторной КТП. Заземлители выполняем вертикальными стержнями с диаметром 15 мм и длиной одного стержня 2 м, которые заглубляют на 0,7 м ниже поверхности земли. В качестве горизонтальных заземлителей используем такие же стержни.

«Найдем расчетный ток замыкания на землю» [20]:

$$I_p = \frac{U_\phi}{R_0 + R_K}, \quad (63)$$

$$I_p = \frac{220}{4 + 4} = 27,5 \text{ A.}$$

«Найдем сопротивление заземляющего устройства» [20]:

$$R_3 = \frac{U_p}{I_p}, \quad (64)$$

$$R_3 = \frac{125}{27,5} = 4,55 \text{ Ом.}$$

Сопротивление ЗУ согласно ПУЭ для электроустановок до 1000 В не должно превышать 4 Ом, поэтому за расчетное значение принимаем $R_3 = 4 \text{ Ом}$.

Заземлители располагаем по периметру объекта с шагом 4 м.

«Расчетные удельные сопротивления грунта для горизонтальных и вертикальных ЗУ найдем из выражений» [20]:

$$\rho_{p,z} = \rho_{y0} K_{П,Г}, \quad (65)$$

$$\rho_{p,z} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$\rho_{p,в} = \rho_{y0} K_{П,В}, \quad (66)$$

$$\rho_{p,в} = 100 \cdot 1,4 = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

«Найдем сопротивление растеканию одного вертикального заземлителя» [20]:

$$R_{O,В,Э} = \frac{\rho_{p,в}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4l+l}{4l-l} \right), \quad (67)$$

$$R_{O,В,Э} = \frac{140}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \left(\ln \frac{2 \cdot 2}{15 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,7 + 2}{4 \cdot 1,7 - 2} \right) = 64,92 \text{ Ом}$$

«Найдем приблизительное количество вертикальных заземлителей» [20]:

$$N = \frac{R_{O,В,Э}}{K_{И,В} R_{И}}, \quad (68)$$

$$N = \frac{64,92}{0,64 \cdot 4} = 26.$$

«Найдем расчетное сопротивление растеканию горизонтального

заземлителя» [20]:

$$R_{O,Г,Э} = \frac{\rho_{p,э}}{K_{II} \cdot 2\pi l} \ln \frac{l^2}{b \cdot t}, \quad (69)$$

$$R_{O,Г,Э} = \frac{200}{0,31 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 60} \ln \frac{60^2}{0,016 \cdot 0,708} = 21,66 \text{ Ом}.$$

«Скорректированное значение необходимого сопротивления вертикальных электродов» [20], [21]:

$$R_{B,Э} = \frac{R_{p,э} R_{II}}{R_{p,э} - R_{II}},$$

$$R_{B,Э} = \frac{21,66 \cdot 4}{21,66 - 4} = 4,9.$$

«Найдем число вертикальных электродов» [20]:

$$N = \frac{R_{O,В,Э}}{K_{II,В,У} R_{B,Э}},$$

$$N = \frac{64,92}{0,61 \cdot 4,9} = 21,7.$$

Таким образом для организации заземляющего устройства устанавливаем по контуру РУ 22 вертикальных электрода.

Заключение

В бакалаврской работе были решены вопросы по проектированию системы электроснабжения главного корпуса электротехнического завода.

Определены расчетные нагрузки по производственному корпусу, нагрузка от силовых электроприемников составила 388 кВт, а нагрузка системы электрического освещения – 20 кВт.

По суммарной нагрузке нескольких корпусов выбрана двухтрансформаторная подстанция с силовыми трансформаторами ТМГ-630/10.

Для внутрицехового распределения электрической энергии используются шинопроводы серии KLM-R.

Произведен расчет токов КЗ в сетях 0,4 кВ. Выбраны и проверены на отключающую способность автоматические выключатели, устанавливаемые в КТП. Выполнен расчет токов КЗ в сетях 10 кВ. Определена необходимая мощность трансформаторов ГПП. Выбраны высоковольтные выключатели 35 кВ в соответствии с рабочими значениями напряжения и тока и проверены на стойкость к воздействию токов короткого замыкания. Выбраны высоковольтные выключатели 10 кВ, устанавливаемые на отходящих фидерах к КТП предприятия. Выбраны разъединители, жесткая ошиновка, изоляторы, измерительные трансформаторы тока и напряжения, а также нелинейные ограничители перенапряжений. Все электрооборудование не только выбиралось по номинальным параметрам, но и было проверено на стойкость к токам короткого замыкания.

Определены параметры защитного заземления РУ 10 кВ главной понизительной подстанции, в заземляющем устройстве которой приняты к установке 22 вертикальных заземлителя.

Список используемых источников

1. Абрамова Е. Я. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие. Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2012. 106 с.
2. Алиев И.И. Электротехника и электрооборудование : учебное пособие для вузов. Саратов: Вузовское образование, 2014. 1199 с.
3. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 03.03.2021).
4. Вахнина В.В., Черненко А.Н., Самолина О.В., Рыбалко Т.А. Проектирование осветительных установок [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 107 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/3383/1/Vahnina%20Chernenko%20Samolina%20Ribalko_%20EUI_Z.pdf (дата обращения: 08.04.2021)
5. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учеб. пособие. Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2017. 271 с.
6. Данилов М.И. Романенко И.Г. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) [Электронный ресурс] : учебное пособие (курс лекций). Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. 223 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/63087.html> (дата обращения: 18.11.2020).
7. Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов. Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. 543 с.

8. Мельников М.А. Внутривзаводское электроснабжение: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. 180 с.
9. Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс]: учеб. пособие. М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2019. 416 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1003805> (дата обращения 14.02.2021).
10. Пилипенко В.Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебно-методическое пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. 124 с.
11. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. М.: Форум, 2015. 368 с.
12. Указания по расчету электрических нагрузок. ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» №358-90 от 1 августа 1993 г.
13. Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики [Электронный ресурс] : учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2014. 447 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/34715.html> (дата обращения: 06.12.2020).
14. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Надежность электроснабжения : учеб. пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 127 с.
15. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. 3-е изд. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 136 с.
16. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2019. 496 с.
17. Alatawneh N. Effects of cable insulations' physical and geometrical parameters on sheath transients and insulation losses // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2019. №11, pp. 95-106.

18. Maria Louis M. Elements of electrical engineering. PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 992 p.
19. Meier A. von. Electric power systems: a conceptual introduction. New Jersey: John Wiley & Sons, 2016. 328 p.
20. Seok H., Chen C. An intelligent wind power plant coalition formation model achieving balanced market penetration growth and profit increase // Renewable Energy. 2019. № 138, pp. 1134-1142.
21. Whitaker J.C. AC power systems. 4rd ed. California: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, 2014. 428 p.