

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

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование направления подготовки)

Электроснабжение
(направленность (профиль))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение завода по ремонту электрооборудования»

Студент

В.В. Семенов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.Н. Черненко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2019 г.

Тольятти 2019

АННОТАЦИЯ

Бакалаврская работа выполнена на тему «Электроснабжение завода по ремонту электрооборудования».

На первом этапе в работе определялись электрические нагрузки силовых электроприемников по производственному корпусу и от системы искусственного освещения. Было определено необходимое количество и мощность цеховых трансформаторов, размещающихся в корпусах завода. Определены значения токов короткого замыкания 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.

Определены параметры защитного заземления ГПП.

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	9
3 Определение параметров внутризаводских сетей 10 кВ.....	29
4 Выбор трансформаторов ГПП и основного электрооборудования.....	34
5 Определение параметров защитного заземления ГПП	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 завода по ремонту электрооборудования путем замены морально и физически изношенных электроаппаратов и проводников на новые.

1 Характеристика объекта

Ульяновский завод по ремонту электрооборудования 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.

В случае необходимости ремонта 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.

Ремонт электродвигателей постоянного тока включает 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.

В данный момент завод осуществляет капитальный ремонт широкого спектра оборудования:

- 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.

2 Определение параметров внутрицеховых сетей

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].

Схемы внутрицеховых электрических сетей могут быть радиальными, магистральными и смешанными.

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.

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.

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:

$$n_{эф} = 0,95 \frac{P_{ном}^2}{\frac{P_{ном1}^2}{n_1} + \frac{(P_{ном} - P_{ном1})^2}{n - n_1}}, \quad (2.1)$$

ШРА1:

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

ШРА2:

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

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

Определим значение расчетной активной нагрузки:

$$P = K_P P_{CP}; \quad (2.2)$$

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:

$$Q_P = Q_{CP} = K_{II} P_{CP} \text{tg} \varphi; \quad (2.3)$$

$$Q_{P1} = Q_{CP1} = 0.4 \cdot 277.2 = 110.9 \text{ кВар};$$

$$Q_{P2} = Q_{CP2} = 0.4 \cdot 282.6 = 113 \text{ кВар}.$$

Определим значение расчетного тока для ШРА1 и ШРА2:

$$I_p = \frac{\sqrt{P_p^2 + Q_p^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (2.4)$$

$$I_{p1} = \frac{\sqrt{157.1^2 + 110.9^2}}{1,73 \cdot 0,38} = 292.5 \text{ A};$$

$$I_{p2} = \frac{\sqrt{160.1^2 + 113^2}}{1,73 \cdot 0,38} = 298 \text{ A}.$$

Итоги определения расчетных нагрузок по производственному корпусу заносим в таблицу 2.1.

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

Таблица 2.1 – Итоги определения расчетных нагрузок по производственному корпусу

Сокр. название электрооб.	n , <i>шт</i>	P_n , <i>кВт</i>	$K_{Исп}$	$\cos\varphi$	$P_{СМ}$, <i>кВт</i>	$Q_{СМ}$, <i>квар</i>	$K_{Исп}$	$n_{Э}$, <i>шт</i>	K_P	P_p , <i>кВт</i>	Q_p , <i>квар</i>	S_p , <i>кВА</i>	I_p , <i>А</i>
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:

$$h = H - h_p - h_c , \quad (2.5)$$

$$h = 9 - 0,8 - 1,2 = 7 \text{ м.}$$

Определим необходимое расстояние между рядами светильников:

$$L = \lambda \cdot h , \quad (2.6)$$

$$L = 1 \cdot 7 = 7 \text{ м.}$$

Найдем количество рядов светильников в помещении:

$$m = \frac{L_{ц}}{L} , \quad (2.7)$$

$$m = \frac{116,5}{7} = 16.$$

Расстояние от стены до близлежащего ряда светильников найдем по формуле:

$$l = \frac{L_{ц} - L \cdot m}{2}, \quad (2.8)$$

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

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

Определим количество светильников внутри цеха:

$$N = mB = 16 \cdot 3 = 48 , \quad (2.9)$$

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

Определим значение необходимого светового потока одной лампы:

$$\Phi = \frac{E_H K_{зан} Fz}{N\eta}, \quad (2.10)$$

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

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:

$$P_{p.o} = P_{уст} K_C K_{ППА}, \quad (2.11)$$

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

Определим полную мощность системы освещения:

$$S_{p.o} = \frac{P_{p.o}}{\cos \varphi}, \quad (2.12)$$

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

Расчетный ток:

в 3фазной сети:

$$I_{p.o} = \frac{P_{p.o}}{\sqrt{3}U_{Л} \cos \varphi}, \quad (2.13)$$

в 1фазной сети:

$$I_{p.o} = \frac{P_{p.o}}{U_{\phi} \cos \varphi}, \quad (2.14)$$

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:

$$\Delta U_{\partial} = U_{xx} - U_{\min} - \Delta U_T, \quad (2.15)$$

$$\Delta U_T = \beta(U_{am} \cos \varphi + U_{pm} \sin \varphi), \quad (2.16)$$

$$U_{am} = \left(\frac{P_\kappa}{P_H} \right) 100\% , \quad (2.17)$$

$$U_{pm} = \sqrt{U_k^2 - U_{am}^2} , \quad (2.18)$$

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

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

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

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

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]:

$$S_{ном.т} = \frac{S_p}{NK_3} , \quad (2.19)$$

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

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

$$1,4S_{ном.т} \geq S_p . \quad (2.20)$$

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

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

Перегрузка лежит в допустимых пределах.

2.5 Выбор распределительных шинпроводов

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

$$I_{ном} \geq I_p . \quad (2.21)$$

ШРА1:

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

ШРА2:

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

Потери напряжения находим из выражения:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,5 I_p \cdot l \cdot 100}{U_{ном}} (r_{y\partial} \cos \varphi + x_{y\partial} \sin \varphi) . \quad (2.22)$$

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:

$$i_{y\partial.дон} > i_{y\partial} , \quad (2.23)$$

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 2.1).

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

$$r_{HH} = r_{BH} \left(\frac{U_{ном.НН}}{U_{ном.ВН}} \right)^2, \quad (2.24)$$

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

$$x_{HH} = x_{BH} \left(\frac{U_{ном.НН}}{U_{ном.ВН}} \right)^2. \quad (2.25)$$

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

«Найдем сопротивление трансформатора» [13]:

$$r_{ЦТ} = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot U_{ном}^2}{S_{ном.т}^2}, \quad (2.26)$$

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

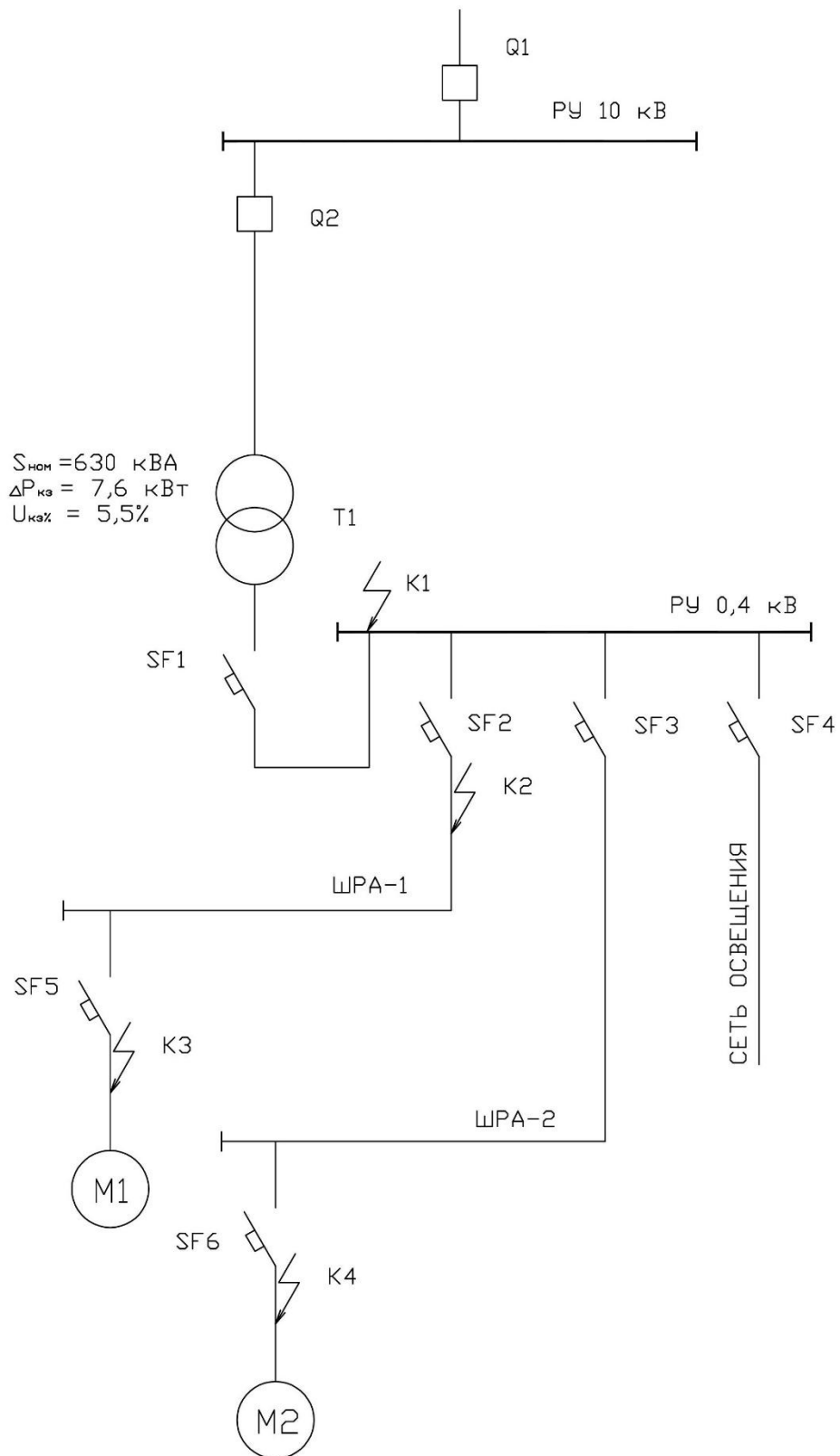


Рисунок 2.1 – Расчетная схема электрической сети для определения токов КЗ

$$x_{цт} = \sqrt{\left(\frac{u_k}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_k}{S_{ном.т}}\right)^2} \frac{U_{ном}^2}{S_{ном.т}}, \quad (2.27)$$

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

Суммарное активное сопротивление для точки К1 определим из выражения:

$$r_{\Sigma K1} = r_{\Sigma HH} + r_{цт} + r_{доб}, \quad (2.28)$$

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

«Найдем значение тока трехфазного КЗ» [13]:

$$I_K = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{\Sigma K}^2 + x_{\Sigma K}^2}}, \quad (2.29)$$

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

«Определим ударный ток КЗ» [13]:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_K, \quad (2.30)$$

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

Для нахождения суммарного сопротивления до точки К3 определим сопротивления шинпровода:

$$r_{ш} = r_{y\partial} \cdot l \cdot 10^3, \quad (2.31)$$

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

$$x_{u1} = x_{y0} \cdot l \cdot 10^3, \quad (2.32)$$

$$x_{u1} = 0,1 \cdot 0,12 \cdot 10^3 = 12 \text{ мОм.}$$

Найдем значения суммарных сопротивлений до точки К3:

$$r_{\Sigma K3} = r_{\Sigma HH} + r_{ЦТ} + r_{u1} + r_{\text{доб}}, \quad (2.33)$$

$$r_{\Sigma K3} = 2,19 + 3,06 + 24 + 0,85 = 30,1 \text{ мОм.}$$

$$x_{\Sigma K3} = x_{\Sigma HH} + x_{ЦТ} + x_{u1} + x_{\text{доб}}, \quad (2.34)$$

$$x_{\Sigma K3} = 0,08 + 14 + 12 + 0,36 = 26,44 \text{ мОм.}$$

Найдем значение тока трехфазного КЗ в точке К3:

$$I_{K3} = \frac{400}{1,73 \sqrt{30,1^2 + 26,44^2}} = 5,78 \text{ кА.}$$

Найдем значение ударного тока в точке К3:

$$i_{y03} = 1,05 \cdot 1,41 \cdot 5,78 = 6,1 \text{ кА.}$$

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

Результаты определения токов КЗ заносим в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – 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:

$$U_{ном.в.} = U_{ном.С} \cdot \quad (2.35)$$
$$380 В = 380 В .$$

- номинальный ток АВ больше расчетного тока в месте установки:

$$I_{ном.в} \geq I_{ном} \cdot \quad (2.36)$$
$$800 А > 524,03 А .$$

- уставка теплового расцепителя:

$$I_{ном.рас.т} \geq 1,3I_{ном} \cdot \quad (2.37)$$
$$720 А > 681,24 А .$$

- уставка электромагнитного расцепителя:

$$I_{ном.рас} \geq 1,2I_{ПИК} \cdot \quad (2.38)$$
$$1600 А > 1301,3 А .$$

$$I_{ПИК} = I_{пуск.мах} + (I_P + k_{II}I_{ном.мах}) \cdot \quad (2.39)$$

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

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

- коммутационная способность:

$$I_{откл. ном. в.} \geq I_{К. макс} \cdot \quad (2.40)$$
$$65 \text{ кА} > 15 \text{ кА}.$$

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 2.35:

$$380 \text{ В} = 380 \text{ В}.$$

- номинальный ток АВ больше расчетного тока в месте установки по 2.36:

$$400 \text{ А} > 169.9 \text{ А}.$$

- уставка теплового расцепителя по 2.37:

$$240 \text{ А} > 220.8 \text{ А}.$$

- уставка электромагнитного расцепителя 2.38:

$$1200 \text{ А} > 840 \text{ А}.$$

- коммутационная способность по 2.40:

$$65 \text{ кА} > 14,7 \text{ кА}.$$

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

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

- соответствие номинального напряжения АВ месту установки по 2.35:

$$380 \text{ В} = 380 \text{ В}.$$

- номинальный ток АВ больше расчетного тока в месте установки по 2.36:

$$630 \text{ А} > 354.1 \text{ А}.$$

- уставка теплового расцепителя по 2.37:

$$504 \text{ А} > 460 \text{ А}.$$

- уставка электромагнитного расцепителя 2.38:

$$1260 \text{ А} > 1038 \text{ А}.$$

- коммутационная способность по 2.40:

$$65 \text{ кА} > 14,7 \text{ кА}.$$

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

Выбор и проверку АВ, размещаемых на шинпроводах выполняем аналогичным образом. Результаты заносим в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Результат выбора и проверки АВ, размещаемых на шинопроводах

№ ЭП на плане корпуса	$P_{ном}, кВт$	$\cos \varphi_{ном}$	$I_{ном}(I_p), A$	$I_{пуск}, A$	Тип АВ, $I_{рас.м}, A$ $I_{рас.э}, A$
1	1	0,65	2,34	11,7	TS100 15 A; 135 A
2,30	3	0,65	7,02	35,1	TS100 15 A; 135 A
3, 14, 15, 26	12	0,6	30,4	91,3	TS100 40 A; 360 A
4,23	2	0,5	6,1	30,5	TS100 15 A; 135 A
5,7,27	4	0,5	12,2	61	TS100 15 A; 135 A
6	45	0,6	114,1	570,4	TS160 170 A; 1190 A
8	25	0,65	58,5	292,5	TS100 60 A; 540 A
9,24	15	0,5	45,6	228,2	TS100 50 A; 450 A
10	11	0,5	33,5	167,3	TS100 40 A; 360 A
11,21	40	0,8	76,1	380,3	TS160 120 A; 840 A
12,28	5	0,5	15,2	76,1	TS100 20 A; 180 A
13,17	10	0,5	30,4	152,1	TS100 40 A; 360 A
16	6	0,5	18,3	91,3	TS100 20 A; 180 A
18	1	0,5	3,04	15,2	TS100 15 A; 135 A
19,31	40	0,5	121,7	608,5	TS160 150 A; 1050 A
20	5	0,65	11,7	58,5	TS100 15 A; 135 A
22	55	0,65	128,7	643,6	TS160 150 A; 1050 A
25	14	0,6	35,5	106,5	TS100 40 A; 360 A

3 Определение параметров внутриводских 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 $S_{\sigma} = S_{ном.м} = 6,3 \text{ МВА}$, а за базисное напряжение $U_{\sigma} = U_{cp} = 10,5 \text{ кВ}$. На рисунке 3.1 представлены расчетная схема и ее схема замещения с указанием точек КЗ.

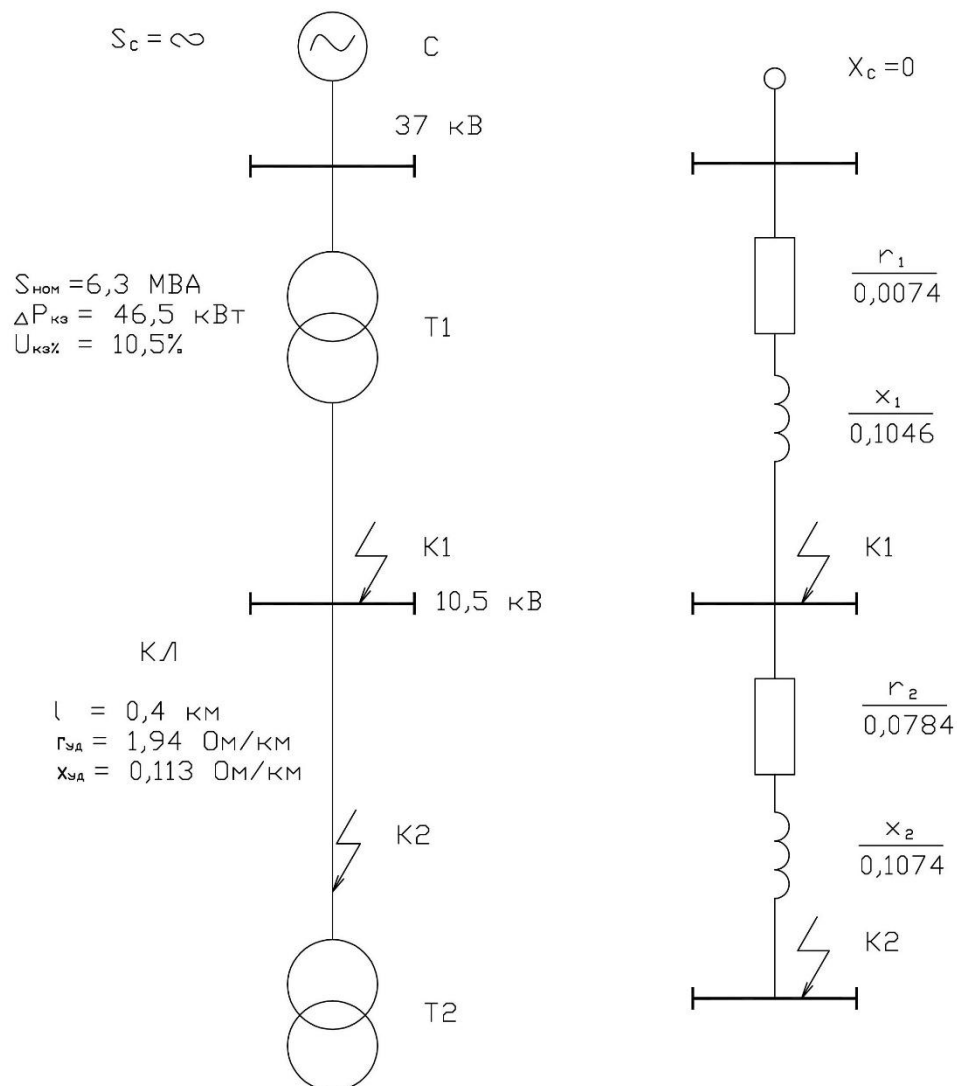


Рисунок 3.1 – Расчетная схема и ее схема замещения с указанием точек КЗ

«Найдем значение базисного тока» [17]:

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

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

«Найдем значение тока КЗ» [17]:

$$I_K = \frac{I_{\bar{\sigma}}}{Z_{\Sigma}^*}, \quad (3.1)$$

Определим значение сопротивлений элементов на схеме замещения:

- для силового трансформатора:

$$r_{1*} = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot S_{\bar{\sigma}}}{S_{\text{ном.т}}^2}, \quad (3.2)$$

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

$$x_{1*} = \sqrt{\left(\frac{U_k}{100}\right)^2 - r_{1*}^2} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{\text{ном.т}}}, \quad (3.3)$$

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

- для кабельной линии:

$$r_{2*} = r_{y\partial} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}}^2}, \quad (3.4)$$

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

$$x_{2*} = x_{y\partial} \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}, \quad (3.5)$$

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

Тогда общее сопротивление элементов до точки К1:

$$\begin{aligned} r_{\Sigma 1*} &= r_{1*} = 0,0074, \\ x_{\Sigma 1*} &= x_{1*} = 0,1046. \end{aligned}$$

Общее сопротивление элементов до точки К2:

$$r_{\Sigma 2*} = r_{1*} + r_{2*}, \quad (3.6)$$

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

$$x_{\Sigma 2*} = x_{1*} + x_{2*}, \quad (3.7)$$

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

Значение токов КЗ определим по формуле 3.1:

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

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

Найдем значение ударного тока КЗ:

$$i_{y\partial} = K_{y\partial} \sqrt{2} I_{\text{П0}}, \quad (3.8)$$

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

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

3.2 Определение параметров кабельной линии 10 кВ

Выберем кабель от ГПП до ТПЗ.

Найдем значение расчетного тока в нормальном режиме:

$$I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (3.9)$$

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

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

$$I_{\max,p} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (3.10)$$

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

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

$$I'_{дон} = K_{дон} K_{с,н} I_{дон}, \quad (3.11)$$

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

По расчетному току находим требуемое сечение кабельной линии:

$$I'_{\partial on} \geq I_{\max,p}. \quad (3.12)$$

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

Принимаем к установке кабельную линию, состоящую из двух кабелей АПВБП с сечением жилы 16 мм^2 .

Определим потери напряжения в кабеле в нормальном режиме:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{y\partial} \cos \varphi + x_{y\partial} \sin \varphi), \text{ B}, \quad (3.13)$$

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

Определим потери напряжения в кабеле в послеаварийном режиме:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\max,p} \cdot l \cdot (r_{y\partial} \cos \varphi + x_{y\partial} \sin \varphi), \text{ B}, \quad (3.14)$$

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

Потери напряжения находятся в допустимых пределах.

4 Выбор трансформаторов ГПП и основного электрооборудования

4.1 Электрические нагрузки трансформаторов ГПП

Суммарные нагрузки по КТП предприятия сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Суммарные нагрузки по КТП предприятия

№	№ КТП	$P_{уст},$ кВт	K_c	$P_p,$ кВт	$cos\varphi$	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА
1	ТП1	1330	0,5	665	0,7	678	952
2	ТП2	937	0,7	656	0,8	480	820
3	ТП3	1307	0,6	784	0,9	376	980
4	ТП4	893	0,4	357	0,65	418	857
5	ТП5	3122	0,5	1561	0,7	1592	2230
6	ТП6	1400	0,6	840	0,7	857	1200
7	ТП7	788	0,65	473	0,8	355	591
8	ТП8	780	0,8	624	0,8	480	780
	Всего на шинах НН ГПП:						8410

4.2 Выбор трансформаторов на ГПП

Найдем номинальную мощность трансформатора:

$$S_{mp} \geq \frac{S_{p\Sigma}}{1,4(n-1)}, \quad (4.1)$$

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

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

$$1,4 \cdot S_{mp} \geq S_{p\Sigma}, \text{ кВА.} \quad (4.2)$$

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

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-СЭЩ-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]:

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

Выбранный высоковольтный выключатель прошел необходимые проверки.

На стороне НН ГПП для защиты линии к КТПЗ выбираем вакуумный выключатель типа ВВУ-СЭЦ-10-20/630У3.

«Выбираем по номинальному напряжению» [18]:

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

«Выбираем по номинальному току» [18]:

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

«Проверяем по току отключения» [18]:

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

«Проверяем на электродинамическую стойкость» [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 4.2. На всех фидерах устанавливаем ВВ типа ВВУ-СЭЦ-10-20/630У3.

Таблица 4.2 – Результаты выбора высоковольтных выключателей на отходящих линиях

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

Продолжение таблицы 4.2

Линия к	Условие выбора или проверки	Расчетное значение	Данные производителя
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]:

$$I_p \leq I_{ном},$$

$$243 \text{ А} < 630 \text{ А},$$

$$I_{max} \leq I_{ном}.$$

$$483 \text{ А} < 630 \text{ А}.$$

«На электродинамическую стойкость» [18]:

$$i_y \leq i_{дин},$$

$$14,3 \text{ кА} < 64 \text{ кА}.$$

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:

$$I_{\text{дон}} \geq I_p \cdot \quad (4.3)$$

$$508 \text{ A} \geq 486 \text{ A}.$$

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

$$I_{\text{дон}} = k_1 k_2 k_3 I_{\text{дон,о}}, \quad (4.4)$$

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

«Максимальное усилие на изгиб» [18]:

$$F_{\text{дон}} = \frac{10\sigma_{\text{дон}} W}{l}, \quad (4.5)$$

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

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

$$F_p = 1,76 \cdot i_y^2 \frac{l}{a} \cdot 10^{-2}, \quad (4.6)$$

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

«Максимальное расчетное напряжение в шинах» [18]:

$$\sigma_p = \frac{F_p l}{10W}. \quad (4.7)$$

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

Проверяем шины на механическую прочность:

$$\sigma_{дон} \geq \sigma_p. \quad (4.8)$$

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

Выбранная шина прошла проверку на механическую прочность.

4.6 Выбор изоляторов 10 кВ

Выбираем опорные изоляторы ОИ-10-375У3 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]:

$$F_{дон} = 0,6F_{разр},$$

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

«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]:

$$I_{max} \leq I_{ном} .$$

$$486 \text{ А} < 630 \text{ А.}$$

«По допустимой нагрузке» [18]:

$$F_{расч} \leq F_{дон} .$$

$$175 \text{ кгс} < 450 \text{ кгс.}$$

«Допустимая нагрузка на головку изолятора» [18]:

$$F_{дон} = 0,6F_{разр},$$

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

«Расчетная сила» [18]:

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

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

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]:

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

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

«Найдем полное сопротивление внешней цепи» [18]:

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

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

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

$$S_{2p} = I_{\text{ном}2}^2 Z_{p2},$$

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

«Проверяем по нагрузке вторичной цепи» [18]:

$$S_{2p} \leq S_{2\text{ном}},$$

$$18,6 \text{ ВА} < 20 \text{ ВА.}$$

«Минимальное сечение проводов должно быть» [18]:

$$s_p = \frac{\rho \cdot l_p}{r_{\text{дон}}},$$

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

Выбираем кабель марки АКВРГ с сечением 2,5 мм².

«Проверяем ТТ на электродинамическую стойкость» [18]:

$$i_y \leq k_{\text{дин}} \sqrt{2} I_{\text{ном.т.т}} ,$$

$$i_{y\text{д.дон}} = 280\sqrt{2} \cdot 150 = 59,22 \text{ кА} ,$$

$$5,6 \text{ кА} \leq 59,22 \text{ кА} .$$

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]:

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

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ} .$$

«Выбираем ТТ по номинальному току» [18]:

$$I_{\text{max.р}} \leq I_{\text{ном.т.т}} ,$$

$$486 \text{ А} < 1000 \text{ А} .$$

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

«Суммарное сопротивление приборов» [18]:

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

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

«Найдем полное сопротивление внешней цепи» [18]:

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

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

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

$$S_{2p} = I_{\text{ном2}}^2 Z_{p2},$$

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

«Проверяем по нагрузке вторичной цепи» [18]:

$$S_{2p} \leq S_{2\text{ном}},$$

$$10,2 \text{ ВА} < 20 \text{ ВА.}$$

«Минимальное сечение проводов должно быть» [18]:

$$s_p = \frac{\rho \cdot l_p}{r_{\text{дон}}},$$

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

Выбираем кабель марки АКВРГ с сечением 2,5 мм².

«Проверяем ТТ на электродинамическую стойкость» [18]:

$$i_y \leq k_{\text{дин}} \sqrt{2} I_{\text{ном.т.т}},$$

$$i_{\text{уд.дон}} = 630 \sqrt{2} \cdot 1000 = 34,2 \text{ кА},$$

$$6,49 \text{ кА} < 34,2 \text{ кА.}$$

Выбранный ТТ ТШЛП-10 прошел необходимые проверки.

4.8 Выбор измерительных трансформаторов напряжения

На стороне ВН ГПП выбираем трансформаторы напряжения типа НОЛ-СЭЦ-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:

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

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

«Проверяем по нагрузке вторичной цепи» [18]:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном},$$

$$30 \text{ ВА} < 75 \text{ ВА}.$$

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]:

$$U_{уст} \leq U_{ном},$$

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}.$$

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:

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

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

«Проверяем по нагрузке вторичной цепи» [18]:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном},$$

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

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.

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]:

$$I_p = \frac{U_\phi}{R_0 + R_K}, \quad (5.1)$$

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

«Найдем сопротивление заземляющего устройства» [20]:

$$R_3 = \frac{U_p}{I_p}, \quad (5.2)$$

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

Сопrotивление 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]:

$$\rho_{p,z} = \rho_{y0} K_{П,Г}, \quad (5.3)$$

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

$$\rho_{p,в} = \rho_{y0} K_{П,В}, \quad (5.4)$$

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

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

$$R_{O,В,Э} = \frac{\rho_{p,в}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4l+l}{4l-l} \right), \quad (5.5)$$

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

«Найдем приблизительное количество вертикальных заземлителей» [20]:

$$N = \frac{R_{O,В,Э}}{K_{И,В} R_{И}}, \quad (5.6)$$

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

«Найдем расчетное сопротивление растеканию горизонтального заземлителя» [20]:

$$R_{O,Г,Э} = \frac{\rho_{p,z}}{K_{II} \cdot 2\pi l} \ln \frac{l^2}{b \cdot t}, \quad (5.7)$$

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

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

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

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

«Найдем число вертикальных электродов» [20]:

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

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

Устанавливаем по контуру распределительного устройства 22 вертикальных электрода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе были решены вопросы по проектированию системы электроснабжения завода по ремонту электрооборудования. 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, разъединители, шины, изоляторы, измерительные трансформаторы тока и напряжения, ОПН. Определены параметры защитного заземления РУ 10 кВ главной понизительной подстанции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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: 18.05.2019).
2. 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: 19.04.2019).
3. Maria Louis M. Elements of electrical engineering. PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 992 p.
4. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2019. 496 с.
5. 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 28.04.2019).
6. 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.
7. Указания по расчету электрических нагрузок. ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» №358-90 от 1 августа 1993 г.
8. 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: 05.05.2019).

9. 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: 04.05.2019)
10. Meier A. von. Electric power systems: a conceptual introduction. New Jersey: John Wiley & Sons, 2016. 328 p.
11. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. М.: Форум, 2015. 368 с.
12. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Надежность электроснабжения : учеб. пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 127 с.
13. Пилипенко В.Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебно-методическое пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. 124 с.
14. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. 3-е изд. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 136 с.
15. Алиев И.И. Электротехника и электрооборудование : учебное пособие для вузов. Саратов: Вузовское образование, 2014. 1199 с.
16. 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.
17. Абрамова Е. Я. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие. Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2012. 106 с.
18. Мельников М.А. Внутривзаводское электроснабжение: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. 180 с.
19. Whitaker J.C. AC power systems. 4rd ed. California: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, 2014. 428 p.

20. Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов. Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. 543 с.

21. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учеб. пособие. Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2017. 271 с.