

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 завода по ремонту механического оборудования

Обучающийся

В. А. Рочев

(И. О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д. А. Кретов

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

Тольятти 2024

## Аннотация

Актуальность выпускной квалификационной работы заключается в разработке проекта системы электроснабжения завода по ремонту механического оборудования с учетом современных требований и стандартов, что позволит обеспечить надежное и качественное электроснабжение потребителей, а также повысить эффективность работы предприятия в целом.

Для электроснабжения потребителей электроэнергии завода по ремонту механического оборудования необходимо разработать проект системы электроснабжения завода. Поэтому выпускная квалификационная работа (ВКР), направленная на проектирование системы электроснабжения завода по ремонту механического оборудования, является достаточно актуальной.

На основании выполненных расчетов в рамках ВКР произведен выбор современного электрического оборудования завода по ремонту механического оборудования, включая силовые трансформаторы и устройства компенсации реактивной мощности. Кроме того, проведен расчет заземления и молниезащиты ГПП.

ВКР представляет собой пояснительную записку, состоящую из введения, восьми разделов основной части, заключения, списка используемой литературы и источников и графической части на 6 листах формата А1. Пояснительная записка выполнена на 72 листах формата А4, содержит 26 таблиц и 8 рисунков.

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей завода .....	6
2 Расчет электрических нагрузок .....	9
3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов.....	14
3.1 Выбор силовых трансформаторов .....	14
3.2 Определение мощности компенсирующих устройств .....	19
4 Расчет токов короткого замыкания .....	22
5 Выбор и расчет электрических аппаратов и проводников .....	28
6 Выбор основного электрооборудования и его проверка .....	42
6.1 Выбор и проверка оборудования на стороне ВН .....	42
6.2 Выбор и проверка оборудования на стороне ВН .....	45
7 Выбор устройств релейной защиты и автоматики .....	56
8 Расчет заземления и молниезащиты.....	66
8.1 Расчёт заземления.....	66
8.2 Расчёт грозозащиты подстанции.....	67
Заключение .....	69
Список используемой литературы и используемых источников.....	71

## Введение

«В современном мире, где промышленность играет ключевую роль в экономическом развитии страны, вопрос эффективного и надежного электроснабжения промышленных предприятий, в частности заводов по ремонту механического оборудования, становится особенно актуальным» [25]. Проектирование системы электроснабжения такого рода предприятий требует тщательного анализа и учета большого количества факторов, таких как мощность потребления, категория надежности, качество электроэнергии и т.д.

Объектом выпускной квалификационной работы является система электроснабжения завода по ремонту механического оборудования.

Предметом выпускной квалификационной работы являются методы и принципы проектирования систем электроснабжения промышленных объектов с учетом особенностей их работы и требований к надежности электроснабжения.

«Целью выпускной квалификационной работы является разработка проекта системы электроснабжения предприятия, занимающегося ремонтом механического оборудования.

На основании поставленной цели необходимо выделить следующие задачи ВКР:

- провести анализ исходных данных для проектирования системы электроснабжения завода по ремонту механического оборудования;
- выполнить расчет электрических нагрузок;
- выбрать силовые трансформаторы и устройства компенсации реактивной мощности;
- выполнить расчет токов КЗ;
- выполнить расчет и выбор электрических аппаратов и проводников завода по ремонту механического оборудования;

- выбрать основное электрооборудование завода по ремонту механического оборудования;
- выбрать устройства релейной защиты и автоматики» [24] завода по ремонту механического оборудования;
- выполнить расчет заземления и молниезащиты.

При выполнении работы будут использоваться современные методы и средства проектирования, а также программные комплексы для выполнения расчетов и анализа параметров системы электроснабжения. В результате работы будет предложен оптимальный вариант системы электроснабжения завода, позволяющий обеспечить надежное и качественное электроснабжение всех потребителей, снизить затраты на электроэнергию и повысить эффективность работы предприятия в целом.

Методами исследования ВКР являются:

- анализ литературы и других источников информации по теме исследования;
- изучение и анализ существующих систем электроснабжения на предприятиях по ремонту механического оборудования;
- расчет параметров системы электроснабжения с использованием специализированного программного обеспечения;
- анализ полученных результатов и выработка рекомендаций по оптимизации системы электроснабжения на предприятии.

## 1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей завода

План рассматриваемого промышленного предприятия приведен на рисунке 1.

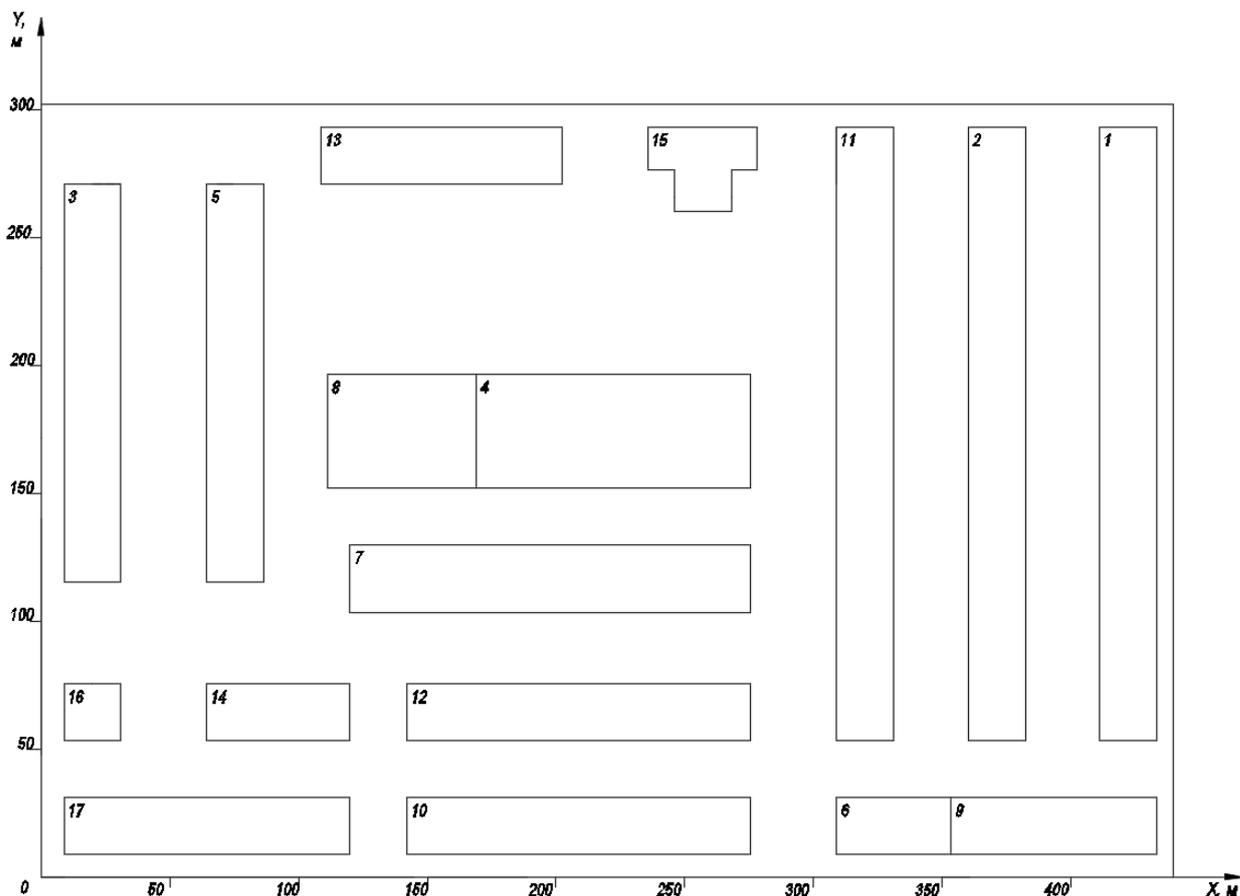


Рисунок 1 – План рассматриваемого промышленного предприятия

Выбор напряжения питающей и распределительной сети.

Питание предприятия осуществляется от главной понизительной подстанции. На рассматриваемом предприятии средняя мощность, соответственно в целях его электроснабжения целесообразным является применение напряжения 110 кВ. При более высоком напряжении и при отсутствии промежуточных трансформаций в значительной степени в системе электроснабжения сокращаются потери электроэнергии.

Окончательный выбор подстанции для подключения рассматриваемого завода будет выполнен после расчета нагрузок и их анализа.

Напряжение 10 кВ применяется как для питающих, так и для распределительных сетей, потому что оно экономичней чем напряжение 6 кВ.

Цеха рассматриваемого промышленного предприятия с указанием их параметров и номера, который соответствует рисунку 1 приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры цехов предприятия

Цех	$P_y$ , кВт	$K_c$	$\cos \varphi$
1 Механический	790	0,45	0,7
2 Механосборочный №1	500	0,3	0,75
3 Механосборочный №2	480	0,3	0,75
4 Штамповочно-заготовительный	800	0,4	0,6
5 Инструментальный	620	0,4	0,74
6 Учебный	80	0,2	0,6
7 Цех мелких серий	120	0,3	0,7
8 РМЦ	1112	0,45	0,85
9 Энергоцех	60	0,3	0,45
10 Сборочный	70	0,43	0,8
11 Экспериментальный	300	0,25	0,8
12 Центральная лаборатория	50	0,45	0,75
13 Заводуправление	80	0,5	0,76
14 Котельная	380	0,5	0,8
15 Столовая	90	0,3	0,9
16 Насосная	360	0,5	0,7
17 Материальный склад	60	0,22	0,8
Итого	4840	–	–

«Выбор напряжения для силовой и осветительной сети.

Основные электроприемники – электродвигатели переменного тока» [24], имеющие небольшую мощность и соответственно важным, является правильный выбор для них питающего напряжения.

Основными потребителями предприятия являются станки, оснащенные асинхронными и синхронными двигателями, которые используют следующие характеристики электроэнергии:

- ток – переменный;
- напряжение  $U = 380$  В;

– частота  $f = 50$  Гц.

В станках, процесс работы которых требует частотного регулирования скорости вращения исполнительного механизма, используются частотные преобразователи.

Однофазные потребители (сварочные аппараты, электропечи) могут в зависимости от мощности включаться на фазное или линейное напряжение.

Осветительная установка общего и аварийного освещения цеха использует следующие характеристики электроэнергии:

- ток – переменный;
- напряжение  $U = 380/220/127$  В;
- частота  $f = 50$  Гц.

Выводы по разделу.

В первом разделе ВКР проведен анализ исходных данных по электроснабжению потребителей завода по ремонту механического оборудования. На основании приведенных исходных данных будет проведено проектирование системы электроснабжения завода.

## 2 Расчет электрических нагрузок

«Расчет электрических нагрузок является одним из ключевых этапов при проектировании системы электроснабжения любого промышленного предприятия или объекта. От точности и правильности выполнения этого расчета во многом зависит эффективность и надежность работы системы электроснабжения» [24] в целом. Расчет электрических нагрузок позволяет определить основные параметры и характеристики системы электроснабжения, а также выбрать соответствующее оборудование и материалы, необходимые для ее реализации. В данной работе будет рассмотрен расчет электрических нагрузок на «примере завода по ремонту механического оборудования. Завод характеризуется определенным набором технологического оборудования, режимом его работы, а также особенностями потребления электроэнергии. На основе полученных данных будут определены электрические нагрузки на вводе завода по ремонту механического оборудования» [24], выбрана соответствующая мощность трансформаторов и сечение кабелей, а также предложены рекомендации по оптимизации системы электроснабжения. Определение расчетных мощностей электроприемников цехов производится по методу коэффициента спроса, значения которого определены из опыта эксплуатации и в ходе проектирования, они принимаются по справочным материалам [6], пример для механического цеха приведен ниже [18]:

$$P_{Pэн} = P_V \cdot K_C, \quad (1)$$

$$P_{Pэн} = 790 \cdot 0,45 = 355,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{Pэн} = P_{Pэн} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

$$Q_{Pэн} = 355,5 \cdot 1,02 = 362,68 \text{ кВАр}.$$

Полная расчетная мощность цеха:

$$S_{P_{эн}} = \sqrt{355,5^2 + 362,68^2} = 507,86 \text{ кВА.}$$

Расчетные значения мощностей электроприемников приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные значения мощностей электроприемников

Цех	$P_y$ , кВт	$K_c$	$P_{P_{эн}}$ , кВт	$\cos \varphi$	$Q_{P_{эн}}$ , кВАр	$S_{P_{эн}}$ , кВА
1 Механический	790	0,45	355,5	0,7	362,68	507,86
2 Механосборочный №1	500	0,3	150	0,75	132,29	200
3 Механосборочный №2	480	0,3	144	0,75	126,99	192
4 Штамповочно–заготовительный	800	0,4	320	0,6	426,67	533,33
5 Инструментальный	620	0,4	248	0,74	225,41	335,14
6 Учебный	80	0,2	16	0,6	21,33	26,27
7 Цех мелких серий	120	0,3	36	0,7	36,73	65,31
8 РМЦ	1112	0,45	500,4	0,85	310,12	588,71
9 Энергоцех	60	0,3	18	0,45	35,72	40
10 Сборочный	70	0,43	30,1	0,8	22,58	37,63
11 Экспериментальный	300	0,25	75	0,8	56,25	93,75
12 Центральная лаборатория	50	0,45	22,5	0,75	22,96	192
13 Заводоуправление	80	0,5	40	0,76	34,21	52,63
14 Котельная	380	0,5	190	0,8	142,50	237,5
15 Столовая	90	0,3	27	0,9	13,08	30
16 Насосная	360	0,5	180	0,7	183,64	257,14
17 Материальный склад	60	0,22	13,2	0,8	9,90	16,5
Итого	4840	–	1865,3	–	1852,9	2817,1

Сменные значения мощностей электроприемников цехов определяются по методу коэффициента использования, он принимается по [6] пример для механического цеха [5]:

$$P_{CM_{эн}} = P_y \cdot K_{II} \quad (3)$$

$$P_{CM_{эн}} = 790 \cdot 0,35 = 276,5 \text{ кВт}$$

$$Q_{CM_{эн}} = 276,5 \cdot 1,02 = 282,09 \text{ кВАр}$$

$$S_{CM_{эн}} = \sqrt{276,5^2 + 282,09^2} = 395 \text{ кВА}$$

Сменные значения мощностей электроприемников приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Сменные значения мощностей электроприемников

Цех	$P_y$ , кВт	$K_{I\text{Эп}}$	$P_{CM\text{Эп}}$ , кВт	$\cos \varphi$	$Q_{CM\text{Эп}}$ , кВАр	$S_{CM\text{Эп}}$ , кВА
1 Механический	790	0,35	276,5	0,7	282,09	395
2 Механосборочный №1	500	0,25	125	0,75	110,24	166,67
3 Механосборочный №2	480	0,25	120	0,75	105,83	160
4 Штамповочно–заготовительный	800	0,3	240	0,6	320	400
5 Инструментальный	620	0,3	186	0,74	169,06	251,35
6 Учебный	80	0,15	12	0,6	16	20
7 Цех мелких серий	120	0,25	30	0,7	30,61	51,97
8 РМЦ	1112	0,35	389,2	0,85	241,2	457,88
9 Энергоцех	60	0,25	15	0,45	29,77	33,33
10 Сборочный	70	0,33	23,1	0,8	17,33	28,88
11 Экспериментальный	300	0,2	60	0,8	45	75
12 Центральная лаборатория	50	0,35	17,5	0,75	17,85	160
13 Заводуправление	80	0,4	32	0,76	27,37	42,11
14 Котельная	380	0,4	152	0,8	114	190
15 Столовая	90	0,25	22,5	0,9	10,89	25
16 Насосная	360	0,4	144	0,7	146,91	205,71
17 Материальный склад	60	0,17	10,2	0,8	7,65	15,4
Итого	4840	–	1855	–	1691,8	2675,65

Определение мощности осветительной нагрузки для цехов осуществляется исходя из удельной мощности осветительной нагрузки, определяемой по справочным данным, представленным в [6] для различных типов цехов. «Пример расчета осветительной нагрузки приводится для механического цеха» [24]:

$$P_{Pocв} = \rho \cdot F_{ЦЕХА} \cdot K_c, \quad (4)$$

где  $\rho$  – «удельная мощность освещения;

$F_{цеха}$  – площадь цеха, м<sup>2</sup>;

$K_c$  – коэффициент спроса» [24],

$$P_{Pocв} = 13 \cdot 4320 \cdot 0,95 = 53,35 \text{ кВт},$$

тогда реактивная мощность системы освещения цеха равна

$$Q_{\text{Росв}} = 53,35 \cdot 1,02 = 54,43 \text{ кВАр},$$

тогда полная мощность системы освещения цеха равна

$$S_{\text{Росв}} = \sqrt{53,35^2 + 54,43^2} = 76,22 \text{ кВА}.$$

Расчетные значения мощностей освещения приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчетные значения мощностей освещения

Цех	Площадь цеха (F) по ГП, м <sup>2</sup>	$\rho$ , Вт/м <sup>2</sup>	$K_C$	$P_{\text{Росв}}$ , кВт	$\cos \varphi_{\text{осв}}$	$Q_{\text{Росв}}$ , кВАр	$S_{\text{Росв}}$ , кВА
1 Механический	4320	13	0,95	53,35	0,7	54,43	76,22
2 Механосборочный №1	4320	14	0,95	57,46	0,7	58,62	82,08
3 Механосборочный №2	2800	14	0,95	37,24	0,7	37,99	53,20
4 Штамповочно–заготовительный	3840	13	0,95	47,42	0,7	48,38	67,75
5 Инструментальный	2800	15	0,95	39,90	0,7	40,71	57,00
6 Учебный	800	17	0,85	11,56	0,7	11,79	16,51
7 Цех мелких серий	3360	14	0,95	44,69	0,7	45,59	63,84
8 РМЦ	2080	13	0,95	25,69	0,7	26,21	36,70
9 Энергоцех	1440	17	0,9	22,03	0,7	22,48	31,47
10 Сборочный	2400	14	0,95	31,92	0,7	32,56	45,60
11 Экспериментальный	4320	15	0,95	61,56	0,7	62,80	87,94
12 Центральная лаборатория	2400	22	0,9	47,52	0,95	15,62	50,02
13 Заводоуправление	1680	18	0,9	27,22	0,95	8,95	28,65
14 Котельная	640	17	0,95	10,34	0,95	3,40	10,88
15 Столовая	768	21	0,9	14,52	0,95	4,77	15,28
16 Насосная	400	17	0,95	6,46	0,7	6,59	9,23
17 Материальный склад	2000	12	0,85	20,40	0,7	20,81	29,14
18 Освещение территории	114736	0,16	0,8	14,69	0,6	19,58	24,48
Итого	–	–	–	573,95	–	521,28	785,99

Расчет суммарной мощности электроприемников и освещения сводится в таблицу 5, также учитывается мощность сторонних потребителей, питающихся от ГПП предприятия.

Таблица 5 – Суммарные значения полных мощностей

Цех	$S_{Рэп},$ кВА	$S_{Росв},$ кВА	$S_{СМэп},$ кВА	$S_{Р},$ кВА	$S_{СМ},$ кВА
1 Механический	507,86	76,22	395	584,08	471,22
2 Механосборочный №1	200	82,08	166,67	282,08	248,75
3 Механосборочный №2	192	53,2	160	245,2	213,2
4 Штамповочно–заготовительный	533,33	67,75	400	601,08	467,75
5 Инструментальный	335,14	57	251,35	392,14	308,35
6 Учебный	26,27	16,51	20	42,78	36,51
7 Цех мелких серий	65,31	63,84	51,97	129,15	115,81
8 РМЦ	588,71	36,7	457,88	625,41	494,58
9 Энергоцех	40	31,47	33,33	71,47	64,8
10 Сборочный	37,63	45,6	28,88	83,23	74,48
11 Экспериментальный	93,75	87,94	75	181,69	162,94
12 Центральная лаборатория	192	50,02	160	242,02	210,02
13 Заводоуправление	52,63	28,65	42,11	81,28	70,76
14 Котельная	237,5	10,88	190	248,38	200,88
15 Столовая	30	15,28	25	45,28	40,28
16 Насосная	257,14	9,23	205,71	266,37	214,94
17 Материальный склад	16,5	29,14	12,75	45,64	41,89
18 Сторонние потребители	–	–	–	25114,01	24202,84
Итого	3405,77	761,51	2675,65	29281,29	27640

Выводы по разделу.

Во втором разделе ВКР проведен расчет электрических нагрузок. На основе полученных данных будут определены электрические нагрузки на вводе цеха, выбрана соответствующая мощность трансформаторов и сечение кабелей, а также предложены рекомендации по оптимизации системы электроснабжения.

### 3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов

#### 3.1 Выбор силовых трансформаторов

Выбор силовых трансформаторов является одним из основных этапов при проектировании системы электроснабжения промышленного предприятия. От правильного выбора трансформаторов зависят такие параметры системы, как надежность, эффективность, качество электроэнергии и безопасность эксплуатации. В данном разделе будет произведен выбор силовых трансформаторов для системы электроснабжения завода по ремонту механического оборудования с учетом всех требований и особенностей данного объекта.

Для обеспечения должной надежности электроснабжения, на цеховые трансформаторные подстанции, питающие потребителей I-й и II-й категории, устанавливается по два трансформатора.

Исходя из оптимальной работы двухтрансформаторной подстанции коэффициент загрузки  $K_3$  предварительно принимается равным 0,7.

«Ориентировочная мощность трансформатора определяется» [24]:

$$S_{OP} = \frac{S_{CM}}{n_T \cdot k_3}, \quad (5)$$

где  $S_{CM}$  – «сменная нагрузка питаемых цехов, кВА;

$K_3$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$n$  – количество трансформаторов на подстанции» [24];

Для механического цеха:

$$S_{OP} = \frac{471,22}{2 \cdot 0,7} = 336,59 \text{ кВА}$$

«Полученная ориентировочная мощность округляется до ближайшей стандартной мощности трансформатора. Выбор числа и мощности трансформаторов ЦТП приведен в таблице 6» [24].

Таблица 6 – Выбор числа и мощности трансформаторов ЦТП

Цех	S <sub>см</sub> , кВА	Кате- гория	Число тр-в	Питание от:	S <sub>оп</sub> , кВА	S <sub>нт</sub> , кВА	K <sub>з</sub>
1 Механический	471,22	1	2	ЦТП 1	336,59	400	0,59
2 Механосборочный №1	248,75	1	2	ЦТП 2	177,68	160	0,78
3 Механосборочный №2	213,2	1	2	ЦТП 3	152,29	160	0,67
4 Штамповочно- заготовительный	467,75	1	2	ЦТП 4	334,11	400	0,58
5 Инструментальный	308,35	2	2	ЦТП 5	299,56	250	0,84
6 Учебный	36,51	3	–	ЦТП 9	–	–	–
7 Цех мелких серий	115,81	1	2	ЦТП 7	82,72	100	0,58
8 РМЦ	494,58	1	2	ЦТП 8	353,27	630	0,59
9 Энергоцех	64,8	1	2	ЦТП 9	72,36	63	0,8
10 Сборочный	74,48	1	2	ЦТП 10	83,12	100	0,58
11 Экспериментальный	162,94	1	2	ЦТП 11	116,39	100	0,81
12 Центральная лаборатория	210,02	2	2	ЦТП 12	150,01	160	0,66
13 Заводоуправление	70,76	2	–	ЦТП 5	–	–	–
14 Котельная	200,88	1	2	ЦТП 14	143,49	160	0,63
15 Столовая	40,28	2	–	ЦТП 5	–	–	–
16 Насосная	214,94	1	2	ЦТП 16	153,53	160	0,67
17 Материальный склад	41,89	2	–	ЦТП 10	–	–	–

Выбор и проверка трансформаторов ГПП.

По суточному графику нагрузки определяется среднеквадратичная мощность:

$$S_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{\sum S_i^2 \cdot t_i}{\sum t_i}}, \quad (6)$$

где S<sub>i</sub> – «мощность ступени нагрузки в относительных единицах» [24];

t<sub>i</sub> – длительность этой ступени, час.

$$S_{\text{ср.кв}}^* = \sqrt{\frac{1^2 \cdot 15 + 0,976^2 \cdot 1 + 0,89^2 \cdot 1 + 0,663^2 \cdot 7}{24}} = 0,909$$

Ориентировочная мощность трансформатора определяется по формуле:

$$S_{op} = \frac{S_{cp.kv}^* \cdot S_{cm}}{n} \quad (7)$$

где  $S_{cp.kv}^*$  – «среднеквадратичная мощность графика нагрузки, о. е»;  
 $S_{cm}$  – сменная мощность подстанции, кВА;  
 $n$  – число трансформаторов на ГПП» [24].

$$S_{op} = \frac{0,909 \cdot 27640}{2} = 12560 \text{ кВА.}$$

«Два трансформатора (ТДН–16000/110), мощность которых составляет 16000 кВА, принимаются к установке на ГПП.

Ниже показано, как осуществляется определение коэффициента обеспеченности трансформаторной мощностью» [24]:

$$k_{нт}^* = \frac{S_{нт} \cdot n}{S_{cm}}, \quad (8)$$

$$k_{нт}^* = \frac{16000 \cdot 2}{27640} = 1,158.$$

Проверяются трансформаторы по зимнему графику суточной нагрузки.

Коэффициент начальной загрузки трансформатора:

$$k_{1ав} = \frac{1}{k_{нт}^*} \cdot \sqrt{\frac{\sum S_k^2 \cdot t_k}{\sum t_k}} \quad (9)$$

где  $S_k$  – ступени мощности недогрузки;

$t_k$  – время недогрузки трансформатора.

$$k_{1ав} = \frac{1}{1,158} \cdot \sqrt{\frac{0,663^2 \cdot 7}{7}} = 0,573$$

Коэффициент перегрузки трансформатора:

$$k'_{2ав} = \frac{1}{k_{нм}^*} \cdot \sqrt{\frac{\sum S_n^2 \cdot t_n}{\sum t_n}} \quad (10)$$

$$k'_{2ав} = \frac{1}{1,158} \cdot \sqrt{\frac{1^2 \cdot 15 + 0,976^2 \cdot 1 + 0,89^2 \cdot 1}{17}} = 0,992$$

где  $S_n$  – ступени мощности перегрузки;

$t_n$  – время перегрузки трансформатора.

Если  $k'_2 \geq 0,9 \cdot k_{max}$ , то:

$$k_2 = k'_2, t'_n = t_n.$$

Если  $k'_2 \leq 0,9 \cdot k_{max}$ , то:

$$k_{2к} = 0,9, t_n = \frac{(k'_2)^2 \cdot t'_n}{(0,9 \cdot k_{max})},$$

$$k_{max} = \frac{S_{см}}{S_{нм} \cdot n}.$$

Коэффициент аварийной перегрузки:

$$k_{нм ав}^* = \frac{S_{нм}}{S_{.м}}, \quad (11)$$

$$k_{нм ав}^* = \frac{16000}{27640} = 0,579.$$

«По таблицам ГОСТ 14209–97, в зависимости от  $k_{1ав}$ ,  $t_{п}$ , эквивалентной температуры охлаждающей среды и системы охлаждения трансформатора, находится допустимый коэффициент перегрузки  $K_{2доп ав}$ .

Для трансформаторов ГПП при  $k_{1ав} = 0,573$ ,  $t_{п} = 17$  ч,  $\Theta = -13,4$  °С и системы охлаждения трансформатора Д и М определяется величина допустимого коэффициент аварийной перегрузки  $K_{2доп ав} = 1$ .

Проверку осуществляем по выражению» [7]:

$$k_{2ав} \leq k_{2доп ав}, \quad (12)$$

$$0,992 < 1.$$

«следовательно, выбранный трансформатор удовлетворяет условию проверки на аварийную перегрузку» [7].

Трансформаторы ЦТП проверяются аналогично, принятые окончательно трансформаторы вносятся в таблицу 7.

Таблица 7 – Цеховые трансформаторы предприятия

Цех	Марка	$S_{нт}$ , кВА	$U_{вн}/U_{нн}$	$\Delta P_{хх}$ , кВт	$\Delta P_{кз}$ , кВт	$I_{хх}$ %	$U_{кз}$ %
1 Механический	ТМГ	400	10/0,4	0,95	5,9	2,1	4,5
2 Механосборочный №1	ТМГ	250	10/0,4	0,74	3,7	2,3	4,5
3 Механосборочный №2	ТМГ	160	10/0,4	0,51	0,31	2,4	4,5
4 Штамповочно–заготовительный	ТМГ	400	10/0,4	0,95	5,9	2,1	4,5
5 Инструментальный	ТМГ	250	10/0,4	0,74	3,7	2,3	4,5
6 Цех мелких серий	ТМГ	100	10/0,4	0,33	1,97	2,6	6,5
7 РМЦ	ТМГ	630	10/0,4	1,31	8,5	2	5,5
8 Энергоцех	ТМГ	63	10/0,4	0,24	1,47	2,8	4,7
9 Сборочный	ТМГ	63	10/0,4	0,24	1,47	2,8	4,7
10 Экспериментальный	ТМГ	100	10/0,4	0,33	1,97	2,6	6,5
11 Центральная лаборатория	ТМГ	160	10/0,4	0,51	0,31	2,4	4,5
14 Котельная	ТМГ	160	10/0,4	0,51	0,31	2,4	4,5
12 Насосная	ТМГ	160	10/0,4	0,51	0,31	2,4	4,5

Далее необходимо провести расчет компенсирующих устройств в цеховых ТП завода.

### 3.2 Определение мощности компенсирующих устройств

Определение мощности компенсирующих устройств является важным этапом «при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий» [13]. Компенсирующие устройства позволяют снизить «потери электроэнергии, повысить качество электроэнергии и обеспечить надежность работы системы электроснабжения. В данном разделе будут определены мощности» [13] компенсирующих устройств для системы электроснабжения предприятия по ремонту механического оборудования.

«Определение мощности компенсирующих устройств будет проводиться с учетом особенностей предприятия, таких как тип нагрузки, режим работы оборудования, длина и сечение кабельных линий» [13] и других параметров. На основе полученных данных будет выбрано оптимальное компенсирующее устройство, которое обеспечит требуемый уровень компенсации реактивной мощности и «снижение потерь электроэнергии в системе электроснабжения».

Расчет технических значений реактивной мощности, получаемой из сети энергоснабжающей организации» [13].

Расчет выполняется в соответствии с [9].

«Значение нормативного коэффициента реактивной мощности» [13]:

$$tg\varphi_{Э.Н.} = \frac{tg\varphi_B}{k \cdot (0,4 \cdot d_{MAX} + 0,6)}. \quad (13)$$

«Принимается базовое значение  $tg\varphi_B = 0,5$ ;  $k = 0,5$ » [13];

$$tg\varphi_{Э.Н.} = \frac{0,5}{0,5 \cdot (0,4 \cdot 1 + 0,6)} = 1.$$

«Принимается  $\operatorname{tg}\varphi_{\text{Э.Н.}} = 0,7$ . Чтобы учесть потери мощности» [13] в кабельных линиях, уменьшаем  $\operatorname{tg}\varphi_{\text{Э.Н.}}$  на 0,05. Окончательно принимается  $\operatorname{tg}\varphi_{\text{Э.Н.}} = 0,65$

Определяется экономически нормативная реактивная мощность:

$$Q_{\text{Э.Н.}} = P_P \cdot \operatorname{tg}\varphi_{\text{Э.Н.}} \quad (14)$$
$$Q_{\text{Э.Н.}} = 25520,5 \cdot 0,65 = 16588,3 \text{ квар.}$$

Установка компенсирующих устройств не требуется, если:

$$Q_{\text{Э.Н.}} > Q_P, \quad (15)$$
$$16588,3 \text{ квар} > 14356,14 \text{ квар.}$$

Следовательно, компенсация реактивной мощности в данном случае не нужна.

Компенсация реактивной мощности на НН.

Определяется максимальная пропускная способность трансформатора по реактивной мощности. Пример расчета для механического цеха:

$$Q_i = \sqrt{(n_{\text{ТР}} \cdot K_3 \cdot S_{\text{HT}})^2 - P_{\text{СМ}}^2}, \quad (16)$$
$$Q_i = \sqrt{(2 \cdot 0,59 \cdot 400)^2 - 332,7^2} = 334,8 \text{ квар.}$$

Производится расчет мощности компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{КБ}i} = Q_{\text{СМ}i} - Q_i, \quad (17)$$
$$Q_{\text{КБ}i} = 339,43 - 334,8 = 4,63 \text{ квар.}$$

Расчет компенсации реактивной мощности на стороне НН приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет компенсации реактивной мощности на НН

Цех	$P_{CM}$ , кВт	$Q_{CM}$ , кВАр	$S_{HT}$ , кВА	кз	$Q_i$ , кВАр	$Q_{KB}$ , кВАр
1 Механический	332,7	339,43	400	0,59	334,8	4,63
2 Механосборочный №1	185,4	171,86	250	0,51	175,08	-3,22
3 Механосборочный №2	159,2	145,82	160	0,68	148,34	-2,52
4 Штамповочно-заготовительный	289,9	370,91	400	0,59	372,48	-1,57
5 Инструментальный	228	211,91	250	0,62	210,04	1,87
6 Учебный	25,6	29,88	-	-	-	-
7 Цех мелких серий	77,1	78,66	100	0,59	89,33	-10,67
8 РМЦ	416,3	268,85	400	630	0,39	7,75
9 Энергоцех	39,5	54,76	63	0,54	55,4	-0,64
10 Сборочный	56,7	51,61	63	0,61	51,89	-0,28
11 Экспериментальный	124,8	111,11	100	0,84	112,46	-1,35
12 Центральная лаборатория	70,3	35,21	160	0,68	205,93	-170,72
13 Заводоуправление	62,2	37,3	-	-	-	-
14 Котельная	162,8	117,55	160	0,63	118,9	-1,35
15 Столовая	38,7	16,22	-	-	-	-
16 Насосная	150,8	153,85	160	0,67	152,4	1,45
17 Материальный склад	34,2	32,14	-	-	-	-

Ввиду незначительной величины нескомпенсированной реактивной нагрузки на стороне НН, недостающая ее часть покроеется перетоком реактивной мощности из сети ВН.

Выводы по разделу.

В третьем разделе ВКР выбрано количество и мощности трансформаторов на подстанциях предприятия. Ввиду незначительной величины нескомпенсированной реактивной нагрузки на стороне НН, недостающая ее часть покроеется перетоком реактивной мощности из сети ВН.

## 4 Расчет токов короткого замыкания

«Системы электроснабжения должны включать оборудование и аппараты, которые обладают устойчивостью динамическому и термическому действию токов КЗ» [17].

Расчеты осуществляются по приведенным в [8] и [19] указаниям. «Проводится составление расчетной схемы. На данной схеме обозначают только элементы, сопротивления которых оказывают влияние на величину тока короткого замыкания. Такими элементами являются: трансформаторы, питающая система, воздушные и кабельные линии. Расчетная схема представлена на рисунке 2» [17].

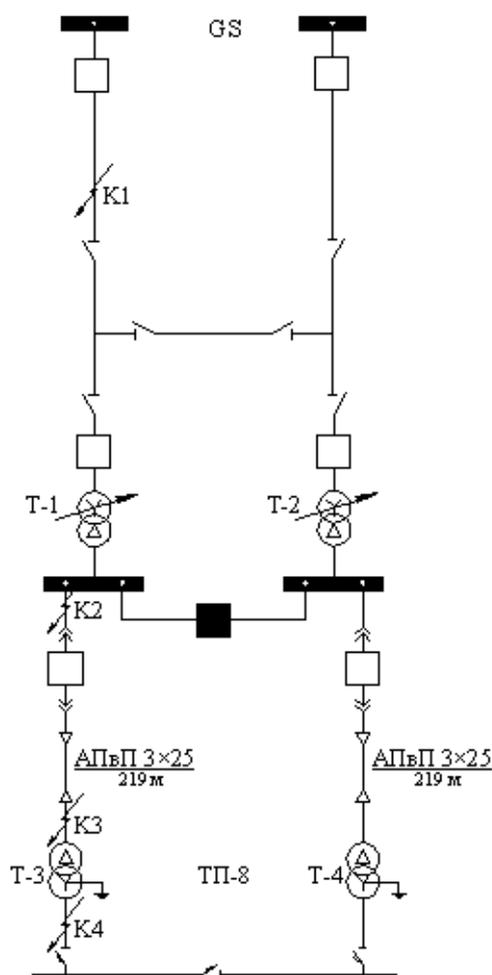


Рисунок 2 – Расчетная схема

«По исходным данным на выполнение ВКР мощность системы 300 МВА, реактивное сопротивление системы на стороне 110 кВ, отнесенное к мощности системы» [17]  $X_c^* = 0,9$ .

Расчет ведется «в относительных единицах».

Принимается  $S_0 = 300$  МВА

За базисное напряжение принимается напряжение той ступени, на которой произошло к.з.

Расчёт точки К1:

$$U_0 = 110 \text{ кВ.}$$

Определяется базисный ток» [17]:

$$I_0 = \frac{S_0}{\sqrt{3} \cdot U_0}, \quad (18)$$
$$I_0 = \frac{300}{\sqrt{3} \cdot 110} = 1,574 \text{ кА.}$$

Базисное сопротивление [15]:

$$X_0 = \frac{U_0}{\sqrt{3} \cdot I_0}, \quad (19)$$
$$X_0 = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot 1,574} = 40,348.$$

«Сопротивление воздушной линии. АС–120. Длина  $l = 6,4$  км; удельные сопротивления воздушной линии  $x_0 = 0,427$  Ом/км;  $r_0 = 0,249$  Ом/км» [6].

$$r_{\text{вл}} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_0}{U_l^2}, \quad (20)$$

$$r_{\text{вн}} = \frac{0,249 \cdot 6,4 \cdot 300}{110^2 \cdot 2} = 0,019 \text{ Ом},$$

$$x_{\text{вн}} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\bar{\sigma}}}{U_{\text{л}}^2},$$

$$x_{\text{вн}} = \frac{0,423 \cdot 6,4 \cdot 300}{110^2 \cdot 2} = 0,034 \text{ Ом}.$$
(21)

Общее расчетное сопротивление в точке К1 [15]:

$$X_{\Sigma 1} = \sqrt{(x_c + x_{\text{вн}})^2 + r_{\text{вн}}^2},$$

$$X_{\Sigma K1} = \sqrt{(0,9 + 0,034)^2 + 0,019^2} = 1,001 \text{ Ом}.$$
(22)

Сверхпереходный ток в точке К1:

$$I_{K1}'' = \frac{I_{\bar{\sigma}}}{x_{\Sigma 1}} = \frac{1,574}{1,001} = 1,572 \text{ кА}.$$

Мощность короткого замыкания [15]:

$$S_{k3} = S_{\bar{\sigma}} \cdot I_{K1}'' ,$$

$$S_{k3K1} = 300 \cdot 1,572 = 471,6 \text{ МВА}.$$
(23)

На ГПП установлены два трансформатора ТДН–16000/110 со следующими параметрами [11]:

$$\Delta P_{\text{XX}} = 18 \text{ кВт}, \Delta P_{\text{КЗ}} = 85 \text{ кВт}, U_{\text{К}} = 10,5\%, I_{\text{XX}} = 0,7\%.$$

считая их работу раздельной, найдем сопротивление трансформатора

$$X_T = \sqrt{U_{K3}^2 \% - \left( \frac{100 \cdot \Delta P_{K3}}{S_{HT}} \right)^2} \cdot \frac{U_{HH}^2}{S_{HT}}, \quad (24)$$

$$X_T = \sqrt{10,5^2 - \left( \frac{100 \cdot 85}{16000} \right)^2} \cdot \frac{10^2}{16000} = 0,066 \text{ Ом},$$

$$R_T = \frac{\Delta P_{K3} \cdot U_{HH}^2}{S_{HT}^2}, \quad (25)$$

$$R_T = \frac{85 \cdot 10^2}{16000^2} = 0,531 \text{ Ом}.$$

Суммарное сопротивление в точке К2:

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{0,531^2 + (0,331 + 0,066)^2} = 0,663 \text{ Ом},$$

$$I_{K3K2}^{(3)} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,663} = 8,708 \text{ кА}.$$

Сопротивление кабельной линии. АПВП 3×25. Выбор удельных сопротивлений кабеля осуществляется из формулы [19].  $x_0 = 0,062 \text{ Ом/км}$ ;  $r_0 = 1,54 \text{ Ом/км}$ ;  $l = 0,255 \text{ км}$ :

$$x_{кл} = 0,062 \cdot 0,255 \cdot \frac{300}{10^2} = 0,048 \text{ Ом},$$

$$r_{кл1} = 1,54 \cdot 0,255 \cdot \frac{300}{10^2} = 1,18 \text{ Ом},$$

$$Z = \sqrt{1,18^2 + 0,048^2} = 1,181 \text{ Ом}.$$

Суммарное сопротивление в точке К3:

$$Z_{\Sigma K3} = 1,181 + 0,663 = 1,844 \text{ Ом},$$

$$I_{K3K3}^{(3)} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 1,844} = 3,131 \text{ кА.}$$

Приведем суммарное сопротивление к напряжению стороны НН ЦТП–  
8:

$$1,844 \cdot \left( \frac{0,4}{10} \right)^2 = 0,00295 \text{ Ом.}$$

Сопротивление трансформатора ТМГ 630, принимается по [3]

$$Z = \sqrt{0,0034^2 + 0,0135^2} = 0,014 \text{ Ом.}$$

Суммарное сопротивление в точке К4

$$Z_{\Sigma K4} = 0,014 + 0,00295 = 0,01695 \text{ Ом,}$$

$$I_{K3K4}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,01695} = 13,625 \text{ кА.}$$

Ударный ток:

$$i_{y\partial} = K_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_k^{(3)}, \quad (26)$$

где  $K_{y\partial}$  – «ударный коэффициент. Определяется по [16].  $K_{y\partial} = 1,2$  при КЗ на ШНН трансформаторов мощностью до 400 кВА;  $K_{y\partial} = 1,3$  при КЗ на ШНН трансформаторов мощностью более 400 кВА;  $K_{y\partial} = 1$  при более удаленных точках;  $K_{y\partial} = 1,8$  при КЗ в сетях ВН, где активное сопротивление не оказывает существенного влияния» [16].

«Результаты расчета токов короткого замыкания приведены в таблице 9» [16].

Таблица 9 – Расчет токов КЗ

Точка КЗ	К1	К2	К3	К4
$I^{(3)}$ , кА	1,572	8,708	3,131	13,625
$I^{(2)}$ , кА	1,361	7,541	2,712	11,8
$i_y$ , кА	2,89	16,01	5,756	25,049

Выводы по разделу.

В четвертом разделе ВКР рассчитаны токи КЗ по ремонту механического оборудования. Были рассчитаны токи КЗ на шинах подстанции, на отходящих линиях и в различных точках внутри цехов. На основании этих расчетов будут выбраны необходимые аппараты защиты и коммутационные аппараты, обеспечивающие надежную работу системы электроснабжения при возникновении коротких замыканий.

## 5 Выбор и расчет электрических аппаратов и проводников

«Выбор сечения высоковольтных кабелей осуществляется исходя из экономической плотности тока. Кабельные линии прокладываются в траншеях. Для использования будем брать кабели, имеющие изоляцию из сшитого полиэтилена. Данными кабелями обеспечивается высокая надежность электроснабжения, они обладают наиболее высокой пропускной способностью по сравнению с кабелями с бумажной изоляцией, меньшей себестоимостью монтажных работ. Для потребителей I-й и II-й категории для обеспечения той бесперебойности питания, которая требуется, примем 2 кабельные линии, которые параллельно проложены в траншее, с расстоянием между ними 100 мм.

Определение расчетного тока» [4] питающих кабелей приведено в таблице 10.

Таблица 10 – Определение расчетного тока питающих кабелей

Цех	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А	$U_n$ , кВ
1 Механический	584,08	16,98	10
2 Механосборочный №1	282,08	8,27	10
3 Механосборочный №2	245,2	7,16	10
4 Штамповочно–заготовительный	601,08	17,45	10
5 Инструментальный	392,14	15,2	10
6 Учебный	42,78	32,98	0,4
7 Цех мелких серий	129,15	3,83	10
8 РМЦ	625,41	18,11	10
9 Энергоцех	71,47	3,48	10
10 Сборочный	83,23	3,94	10
11 Экспериментальный	181,69	5,38	10
12 Центральная лаборатория	242,02	7,16	10
13 Заводуправление	81,28	94,87	0,4
14 Котельная	248,38	7,18	10
15 Столовая	45,28	33,96	0,4
16 Насосная	266,37	7,7	10
17 Материальный склад	45,64	36,65	0,4
18 РП–1	1041,45	30,06	10
19 РП–2	886,59	25,59	10

$$I_{расч} = \frac{S_{расч}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{вн}} \quad (27)$$

По [1] принимаем с учетом  $J_{ЭК} = f$  (материал жил, изоляция, регион,  $T_M$ )  
 $J_{ЭК} = 1,2$

Экономическое сечение кабеля [10]:

$$F_{ЭК} = \frac{I_{РАСЧ}}{J_{ЭК}} \quad (28)$$

«При учете допустимой перегрузки при аварийном режиме и снижения в нормальном режиме допустимого тока осуществляется выбор сечения жил кабельных линий для прокладки кабелей в одной траншее. Соответственно [3] допустимая перегрузка составляет 1,25. Коэффициенты снижения токовой нагрузки  $K_{С.Н.}$  принимаем по [1] равными 0,9, 0,85, 0,8 для 2, 3, и 4<sup>-х</sup> кабелей соответственно. Ток перегрузки  $I_{ПЕР}$ » [1]:

$$I_{ПЕР} = 1,25 \cdot K_{С.Н.} \cdot I_{ДЛ.ДОП.}$$

$$I_{ПЕР} \geq I_{АВ}; I_{АВ} = 2 \cdot I_P$$

«Проверка кабелей производится по длительно допустимому току в аварийном режиме» [7] и на термическую стойкость.

«Результаты расчета сечений питающих кабелей завода приведены в таблице 11» [7].

Таблица 11 – Результаты расчета сечений питающих кабелей

Цех	$I_P$ , А	$U_{н.}$ , кВ	$J_{ЭК}$	$F_{ЭК}$ , мм <sup>2</sup>	$F_{СТ}$ , мм <sup>2</sup>	$I_{АВ}$ , А	$I_{ДЛ.ДОП.}$ , А	$I_{ПЕР}$ , А
1 Механический	16,98	10	1,2	14,15	16	33,96	75	79,68
2 Механосборочный №1	8,27	10	1,2	6,89	16	16,54	75	79,68
3 Механосборочный №2	7,16	10	1,2	5,96	16	14,32	75	75

Продолжение таблицы 11

Цех	I <sub>p</sub> , А	U <sub>н</sub> , кВ	J <sub>ЭК</sub>	F <sub>ЭК</sub> , мм <sup>2</sup>	F <sub>СТ</sub> , мм <sup>2</sup>	I <sub>ав</sub> , А	I <sub>дл.доп</sub> , А	I <sub>пер</sub> , А
4 Штамповочно– заготовительный	17,45	10	1,2	14,54	16	34,9	75	75
5 Инструментальный	15,2	10	1,2	12,67	16	30,4	75	75
6 Учебный	65,96	0,4	1,2	54,97	70	131,92	270	270
7 Цех мелких серий	3,83	10	1,2	3,19	16	7,66	75	75
8 РМЦ	18,11	10	1,2	15,09	16	36,22	75	75
9 Энергоцех	3,48	10	1,2	2,9	16	6,96	75	75
10 Сборочный	3,94	10	1,2	3,28	16	7,88	75	75
11 Экспериментальный	5,38	10	1,2	4,48	16	10,76	75	79,68
12 Центральная лаборатория	7,16	10	1,2	5,97	16	14,32	75	75
13 Заводоуправление	94,87	0,4	1,2	79,06	95	189,74	260	260
14 Котельная	7,18	10	1,2	5,99	16	14,36	75	75
15 Столовая	33,96	0,4	1,2	28,29	35	67,92	145	145
16 Насосная	7,7	10	1,2	6,42	16	15,4	75	75
17 Материальный склад	36,65	0,4	1,2	30,55	35	73,3	145	145
18 РП–1	30,06	10	1,2	25,05	25	60,12	90	90
19 РП–2	25,59	10	1,2	21,33	25	51,18	90	90

Все кабели удовлетворяют условию аварийной перегрузки.

Проверка на термическую стойкость [10]:

$$F_{\text{ТЕР}} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T} \quad (29)$$

где F<sub>ТЕР</sub> – минимальное сечение проводника, отвечающее требованию по его термической стойкости при КЗ;

C<sub>T</sub> – коэффициент, C<sub>T</sub> = 90 для кабелей с алюминиевыми жилами [3];

B<sub>K</sub> – импульс квадратичного тока КЗ.

$$B_K = (I_{K3}'' )^2 \cdot (t_{II} + T_A), \quad (30)$$

где t<sub>II</sub> – время протекания тока к.з. по кабелю;

T<sub>A</sub> = 0,01 является постоянной по «времени затухания

апериодической составляющей тока (для распределителей 6 – 10 кВ).

$$t_{II} = t_3 + t_B, \quad (31)$$

где  $t_3 = 0,01$  – время срабатывания защиты;

$t_B = 0,025$  – время срабатывания выключателя.

Расчетным временем срабатывания принимают время, проходящее с того момента, как возникло короткое замыкание и до момента отключения его аппаратом защиты» [7].

Чтобы рассчитать значение тока короткого замыкания на шинах источника питания предприятия задаемся следующим условием – силовые трансформаторы ГПП работают отдельно.

Находим тепловой импульс  $B_K$  для проверки кабелей на термическую стойкость:

$$B_K = 8,708^2 \cdot (0,01 + 0,025 + 0,01) = 34,123 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$F_{\text{ТЕР}} = \frac{\sqrt{34,123 \cdot 10^7}}{90} = 12,372 \text{ мм}^2.$$

Сечение выбранных кабелей удовлетворяет условию термической стойкости ( $F_{\text{СТ}} \geq F_{\text{ТЕР}}$ ), поэтому выбранные кабели принимаются окончательно и вносятся в кабельный журнал.

Результаты остальных расчетов кабельного журнала предприятия заносятся в таблицу 12.

Таблица 12 – Кабельный журнал предприятия

Обозначение кабеля, провода	Трасса		U, кВ	Кабель, провод по проекту			
	Начало	Конец		Марка	Кол- во жил	Сечение жил	Длина, м
Механический	ГПП	ЦТП1	10	АПвП	3	16	112
Механосборочный №1	ГПП	ЦТП2	10	АПвП	3	16	74
Механосборочный №2	РУ-1	ЦТП3	10	АПвП	3	16	41
Штамповочно- заготовительный	ГПП	ЦТП4	10	АПвП	3	16	148

Продолжение таблицы 12

Обозначение кабеля, провода	Трасса		U, кВ	Кабель, провод по проекту			
	Начало	Конец		Марка	Кол- во жил	Сечение жил	Длина, м
Инструментальный	РУ-1	ЦТП5	10	АПвП	3	16	37
Учебный	ЦТП9	Цех 6	0,4	АВВГ	3	70	10
Цех мелких серий	РУ-2	ЦТП7	10	АПвП	3	16	45
РМЦ	ГПП	ЦТП8	10	АПвП	3	16	219
Энергоцех	РУ-2	ЦТП9	10	АПвП	3	16	147
Сборочный	РУ-2	ЦТП10	10	АПвП	3	16	100
Экспериментальный	ГПП	ЦТП11	10	АПвП	3	16	38
Центральная лаборатория	РУ-2	ЦТП12	10	АПвП	3	16	70
Заводоуправление	ЦТП5	Цех 13	0,4	АВВГ	3	95	30
Котельная	РУ-2	ЦТП14	10	АПвП	3	16	185
Столовая	Цех 13	Цех 15	0,4	АВВГ	3	35	41
Насосная	РУ-1	ЦТП16	10	ААБл	3	16	195
Материальный склад	ЦТП10	Цех 17	0,4	АВВГ	3	35	22
РП-1	ГПП	РУ-1	10	АПвП	3	25	255
РП-2	ГПП	РУ-2	10	АПвП	3	25	175

По справочным данным [3] находятся сопротивления выбранных кабелей.

«Выбор и проверка оборудования токоведущих частей на стороне 110 кВ. Определение действительного времени КЗ.

Для выключателя отходящей линии ( $B_{ол}$ )» [7]:

$$t_{B_{ол}} = t_B + t_{P.з.}, \quad (32)$$

где  $t_B$  – «время срабатывания выключателя, принимаем  $t_B = 0,1$  с

$t_{P.з.}$  – время срабатывания релейной защиты  $t_{P.з.} = (0,01 \div 0,02)$ ,  
принимаем  $t_{P.з.} = 0,02$  с» [7]

$$t_{B_{ол}} = 0,1 + 0,02 = 0,12 \text{ с.}$$

Для секционного выключателя ( $B_C$ ):

$$t_{BC} = t_B + \Delta t_C + t_{P.3.}, \quad (33)$$

где  $\Delta t_C$  – время ступени селективности  $t_C = (0,1 \div 0,5)$ , принимается  $t_{P.3.} = 0,3$  с

$$t_{BC} = 0,1 + 0,3 + 0,02 = 0,42 \text{ с}$$

Для выключателя ячейки ввода ( $B_{ЯВ}$ ):

$$t_{ЯВ} = t_B + 2 \cdot \Delta t_C + t_{P.3.}, \quad (34)$$

$$t_{ЯВ} = 0,1 + 2 \cdot 0,3 + 0,02 = 0,72 \text{ с.}$$

Для выключателя на стороне ВН ( $B_{ВН}$ ):

$$t_{ВН} = t_B + 3 \cdot \Delta t_C + t_{P.3.}, \quad (35)$$

$$t_{ВН} = 0,1 + 3 \cdot 0,3 + 0,02 = 1,02 \text{ с.}$$

«Определение теплового импульса.

Для выключателя отходящей линии ( $B_{ОЛ}$ ):

Тепловой импульс» [7]:

$$B_K = I_{t=0}^2 \cdot t_{K.3.}, \quad (36)$$

где  $t_{K.3.}$  – «действительное время КЗ» [7]:

$$B_{K_{О.Л.}} = 8,708^2 \cdot (0,12 + 0,05) = 12,89 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

«Для секционного выключателя ( $B_C$ )» [7]:

$$B_{K_{BC}} = 8,708^2 \cdot (0,42 + 0,05) = 35,64 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

«Для выключателя ячейки ввода ( $B_{ЯВ}$ )» [7]:

$$B_{к ЯВ} = 8,708^2 \cdot (0,72 + 0,05) = 58,38 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

«Для выключателя на стороне ВН ( $B_{ВН}$ )» [7]:

$$B_{к ЯВ} = 1,572^2 \cdot (1,02 + 0,05) = 2,644 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Результаты вносятся в таблицу 13.

Таблица 13 – Тепловые импульсы для основных элементов ГПП

Наименование ячейки	т <sub>к.з.</sub> , с	$B_k, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$
Отходящая линия	0,12	12,89
Секционный выключатель	0,42	35,64
Ячейка ввода	0,72	58,38
Выключатель на ВН	1,02	2,644

Выбор питающей линии.

Определяется рабочий ток на ВН:

$$I_{РАБ} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН} \cdot 2} \quad (37)$$

$$I_{РАБ} = \frac{25114,01}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 2} = 65,907 \text{ А}$$

По экономической плотности тока выбирается сечение:

$$F_{ЭК} = \frac{I_{РАБ}}{j_{ЭК}}, \quad (38)$$

где  $F_{ЭК}$  – «экономическое сечение проводника, мм<sup>2</sup>;

$j_{ЭК}$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [16].

«Для  $T_m = 7485$  ч принимаем  $j_{ЭК} = 1$  А/мм<sup>2</sup> по» [4].

$$F_{ЭК} = \frac{65,907}{1} = 65,907 \text{ мм}^2.$$

«Полученное сечение округляем до стандартного, по условию короны» [7] и механической прочности, учитывая, что сооружение завода планируется в регионе, который относится ко II<sup>-му</sup> [1] региону по гололедообразованию и ветровым нагрузкам, принимается провод «сечением 120 мм<sup>2</sup>.

Принимаем провод АС – 120 с  $I_{д,доп.} = 390$  А.

Проверка по короне.

Разряд в виде короны возникает при максимальном значении начальной критической напряжённости электрического поля» [7]:

$$E_0 = 30,3 \cdot m \cdot \left( 1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}} \right), \quad (39)$$

где  $m$  – «коэффициент, учитывающий шероховатость поверхности провода (для многопроволочных проводов  $m = 0,82$ );

$r_0$  – радиус провода,  $r_0 = 0,76$  см» [7];

$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \cdot \left( 1 + \frac{0,299}{\sqrt{0,76}} \right) = 33,368 \text{ кВ / см.}$$

«Напряжённость электрического поля у поверхности нерасщеплённого провода» [7]:

$$E_{МАКС} = \frac{0,354 \cdot U}{r_0 \cdot \lg \frac{D_{CP}}{r_0}}, \quad (40)$$

где  $U$  – «линейное напряжение, кВ;

$D_{cp}$  – среднее геометрическое расстояние между фазами, при горизонтальном расположении» [7]:

$$D_{CP} = 1,26 \cdot D, \quad (41)$$

где  $D$  – «расстояние между соседними фазами,  $D = 250$  см» [7];

$$D_{CP} = 1,26 \cdot 250 = 315 \text{ см};$$

$$E_{МАКС} = \frac{0,354 \cdot 110}{0,99 \cdot \lg \frac{315}{0,76}} = 15,717 \text{ кВ} / \text{см}.$$

Условие проверки:

$$1,07 \cdot E_{МАКС} \leq 0,9 \cdot E_0;$$
$$16,817 \text{ кВ} / \text{см} < 29,081 \text{ кВ} / \text{см}.$$

«Проверка по длительному допустимому току.

Условие проверки» [7]:

$$I_{Д.ДОП.} \geq 2 \cdot I_{РАБ};$$
$$390 \text{ А} > 79,514 \text{ А} \text{ – условие выполняется.}$$

«Повод марки АС – 120 по условию проверки прошел и окончательно принимается для питающей линии.

Выбор и проверка оборудования токоведущих частей на стороне 10 кВ.

Выбор шинного моста.

Шинный мост – соединение трансформатора с распределительным устройством низкого напряжения.

В качестве шинного моста выбирается провод марки АС. Выбор сечения производится по экономической плотности тока» [7]:

$$I_{РАБ} = \frac{S_P}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{НН}}, \quad (42)$$

где  $U_{НН}$  – напряжение на НН, кВ;

$$I_{РАБ} = \frac{25114,01}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 437,323 \text{ А},$$

$$F_{ЭК} = \frac{437,23}{1,0} = 437,23 \text{ мм}^2.$$

«Принимаются провод АС – 500,  $I_{дл.доп} = 960 \text{ А}$ . Выбранный шинный мост проверяется по длительно–допустимому току» [8]:

$$I_{дл.доп.} \geq I_{АВ},$$

$$I_{АВ} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{НН}}, \quad (43)$$

$$I_{АВ} = \frac{25114,01}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 874,646 \text{ А},$$

$$960 \text{ А} > 874,646 \text{ А}.$$

«Выбранный шинный мост проходит по длительно допустимому току. Не проводится проверка на электродинамическое» [7] и термическое действие токов короткого замыкания, так как  $I_{кз.макс} < 20 \text{ кА}$  и  $i_y < 50 \text{ кА}$

Проверка по условию короны не производится т.к. напряжение равно 10 кВ (корона не возникает).

Выбор изоляторов.

«Выбирается подвесной изолятор ЛК–70/10–И–3

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

Осуществляется проверка на допустимую нагрузку» [7]:

$$F = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \frac{i_{уд}^{(3)2} \cdot l}{a} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \frac{(16,01 \cdot 10^3)^2 \cdot 2}{1,5} = 39,195 \text{ кН},$$

$$F_{доп} = 0,6 \cdot F_{расч} = 0,6 \cdot 100 = 60 \text{ кН},$$

$$F_{расч} \leq F_{доп};$$

$$59,195 \text{ кН} < 60 \text{ кН}.$$

Условие проверки выполняется.

«Проходные изоляторы:

Выбираем проходной изолятор ИП–10/1000–750 У ХЛ» [8]:

$$U_{уст} \leq U_{ном};$$

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ};$$

$$I_{макс} = \frac{25114,01}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 874,646 \text{ А},$$

$$I_{макс} \leq I_{ном};$$

$$874,646 \text{ А} < 1000 \text{ А}.$$

Осуществляем проверку на допустимую нагрузку:

$$F = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 10^{-7} \frac{i_{уд}^2 \cdot l}{a} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 10^{-7} \frac{(16,01 \cdot 10^3)^2 \cdot 1}{0,8} = 24,75 \text{ кН},$$

$$F_{доп} = 0,6 \cdot F_{расч} = 0,6 \cdot 70 = 42 \text{ кН},$$

$$F_{расч} \leq F_{доп};$$

$$24,75 \text{ кН} < 42 \text{ кН}.$$

«Условие выполняется, окончательно принимается проходной изолятор ИП–10/1000–750 У ХЛ» [8].

Выбор сборных шин.

Сборные шины, которые характеризуются наличием у них прямоугольного сечения, непосредственным образом используются в установках, которые имеют напряжение 35 кВ. Они являются более экономичными.

$$I_{\text{НОМ.РВ.}} = 1000 \text{ А}, I_{\text{ДЛ.ДОП.}} = 1150 \text{ А},$$

$$I_{\text{АВ}} = \frac{25114,01}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 874,646 \text{ А}.$$

Условие проверки:

$$I_{\text{ДЛ.ДОП.}} \geq I_{\text{АВ}};$$

$$1150 \text{ А} > 874,646 \text{ А}.$$

Расположение сборных шин показано на рисунке 3.

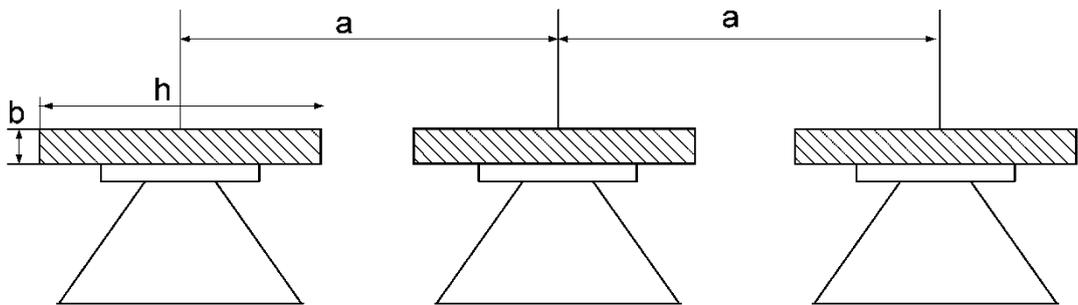


Рисунок 3 – Сборные шины

Выбираем алюминиевые шины с  $F = 80 \times 6$  мм [8].

В связи с тем, что шины расположены на ребре и сечение шин  $F = 80 \times 6$  мм, то необходимо уменьшить  $I_{\text{ДЛ.ДОП.}}$  на 8 процентов.

В этом случае  $I_{\text{ДЛ.ДОП.}} = 1058 \text{ А}$

$$1058 \text{ А} > 874,646 \text{ А}.$$

«Проверка на электродинамическую стойкость.

При механическом расчёте однополюсных шин наибольшая сила  $F(H)$ , действующая на шину средней фазы (шины в одной плоскости) определяется при трёхфазном к.з.» [7]:

$$F = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 16,01^2 \cdot \frac{1,5}{0,6} = 1,11 \text{ кН}.$$

Механический расчёт  $\sigma_{РАСЧ} \leq \sigma_{ДОП}$

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6}, \quad (44)$$
$$W = \frac{0,006^2 \cdot 0,08}{6} = 4,8 \text{ см}^3;$$

где  $b$  – толщина полосы, см

$h$  – высота полосы, см

$$\sigma_{РАСЧ} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 16,01^2 \cdot \frac{1,5^2}{0,8 \cdot 4,8 \cdot 10^{-6}} = 10,35 \text{ кПа},$$
$$10,35 \text{ кПа} < 49 \text{ кПа},$$
$$\sigma_{ДОП} \leq 0,7 \cdot \sigma_{РАЗР}, \quad (45)$$

где  $\sigma_{РАЗР}$  – «предел прочности на разрыв материала шин, мПа» [7].

$$40 \text{ кПа} < 0,7 \cdot 70 = 49 \text{ кПа}.$$

Проверка на термическую стойкость:

$$q_{МИН} = \frac{1}{C} \cdot \sqrt{B_K}, \quad (46)$$

где  $q_{МИН}$  – «минимальное сечение проводника,

$C$  – постоянная (для алюминиевых шин  $C = 91 \frac{A \cdot c^{1/2}}{мм^2}$ )» [7],

$$q_{\text{МИН}} = \frac{1}{91} \cdot \sqrt{5838} = 0,84 \text{ мм}^2,$$

$$q_{\text{МИН}} < q;$$

$$0,84 \text{ мм}^2 < 4,8 \text{ мм}^2.$$

«Алюминиевые шины  $80 \times 6$  мм условиям проверки удовлетворяют и окончательно принимаются для установки» [7].

Выводы по разделу.

В пятом разделе ВКР выбраны электрические аппараты и проводники. При выборе электрических аппаратов учитывались факторы эффективности и безопасности работы системы. Раздел представляет собой важный этап проектирования системы электроснабжения, где правильный выбор и расчет оборудования играют ключевую роль в обеспечении эффективной и безопасной работы электрической системы предприятия. Этот раздел гарантирует соответствие проекта всем необходимым техническим требованиям и обеспечивает основу для успешной эксплуатации электрооборудования.

## 6 Выбор основного электрооборудования и его проверка

### 6.1 Выбор и проверка оборудования на стороне ВН

Выбор высокочастотного «заградителя».

Они необходимы для ограничения зоны распространения электрических токов, которые характеризуются высокой частотой. Осуществляется выбор ВЗ–630–0,5У1. В таблицу 14 сводятся данные ВЗ–630–0,5У1» [8].

Таблица 14 – Номинальные и расчетные данные высокочастотного заградителя

Величина	Данные ВЗ–630–0,5У1	Расчётные данные
U, кВ	110	110
I, А	630	65,907
$W_k, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$41^2 \cdot 1 = 1681$	2,644
$i_y, \text{кА}$	16	2,89

Выбор изоляторов.

«Изоляторы – изолируют токоведущую часть от земли и иных частей установки, которые находятся под другим потенциалом, и поддерживают токоведущие части. Число изоляторов в подвесной гирлянде зависит от номинального напряжения подстанции. Принимаем изоляторов типа ПС–6Б. В установках 110 кВ в подвесной гирлянде 7 изоляторов, в натяжной гирлянде количество изоляторов увеличивается на один» [7].

Выбор ОПН и аппаратов в нейтрали трансформатора.

ОПН предназначены для защиты электрического оборудования от воздействия кратковременных перенапряжений, которые могут возникать в результате коммутационных процессов, ударов молний или других внешних воздействий. Они обеспечивают безопасность и надежность работы электроустановок, предотвращая повреждение оборудования и возможные аварии.

«Выбирается ОПН–110У1, характеристики которых приведены в таблице 15» [8].

Таблица 15 – Данные ОПН–110У1

Тип	U <sub>н</sub> , кВ	U <sub>МАКС.ДОП</sub> , кВ	U <sub>ИМП.ПРОБ</sub> , кВ	Масса, кг
ОПН–110У1	110	100	75	175

«В цепи нейтрали обмоток трансформаторов также устанавливаются ограничители перенапряжения, характеристики которых приведены в таблице 16» [8].

Таблица 16 – Данные ОПН–110У1 в нейтрали трансформатора

Тип	U <sub>н</sub> , кВ	U <sub>МАКС.ДОП</sub> , кВ	U <sub>ИМП.ПРОБ</sub> , кВ	Масса, кг
ОПН–110У1	110	100	56	175

«Кроме ОПН в нейтрали трансформатора устанавливается заземлитель ЗОН–110М–1У1 по» [8].

Выбор разъединителей и заземляющих ножей.

Выбирается разъединитель РГП–110/1250 УХЛ1. Сравнение параметров сети и разъединителей приведено в таблице 17.

Таблица 17 – Выбор разъединителей

Условие выбора	Расчетные данные сети	Каталожные данные
$U_{уст} \leq U_{ном}$	110 кВ	110 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	65,907 А	1250 А
$i_{уд} \leq i_{пр.с.}$	2,89 кА	63 кА
$B_k \leq I_{пр.}^2 \cdot t_\tau$	2,644 кА <sup>2</sup> · с	25 кА <sup>2</sup> · с

Окончательно принимается «разъединитель РГП–110/1250 УХЛ1

Заземлитель выбирается и проверяется аналогично разъединителям» [8].

Сравнение параметров сети и заземлителей приведено в таблице 18.

Таблица 18 – Данные заземлителя ЗОН–110М–1У1

Условие выбора	Расчетные данные сети	Каталожные данные заземлителя
$U_{уст} \leq U_{ном}$	110 кВ	110 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	65,907 А	1000 А
$i_{уд} \leq i_{пр.с.}$	2,89 кА	80 кА
$B_k \leq I_{пр.}^2 \cdot t_\tau$	2,644 кА <sup>2</sup> · с	119 кА <sup>2</sup> · с

Окончательно принимается заземлитель: ЗОН–110М–1У1, тип привода: ПРН–110У1.

Выбор и проверка выключателя.

Выбирается выключатель ВВК – 110Б – 20 «так как вакуумные выключатели обладают высокой отключающей способностью и скоростью отключения, большими сроками эксплуатации и промежутками между обслуживанием. Они осуществляют больше всего коммутаций между обслуживанием, чем снижают эксплуатационные затраты. Данные выключателя ВВК – 110Б – 20 приведены в таблице 19» [2].

Таблица 19 – Данные выключателя ВВК – 110Б – 20

Расчётные данные	Данные выключателя
$U_C = 110$ кВ	$U_C = 110$ кВ
$I_C = 65,907$ А	$I_C = 1$ кА
$I_y = 2,89$ кА	$I_{уд.вык} = 51$ кА
$I'' = 1,572$ кА	$I_{откл} = 20$ кА
$B_k = 2,644$ кА <sup>2</sup> · с	$B_k = 1200$ кА <sup>2</sup> · с

«Условия проверки выполняются, следовательно, окончательно принимаем выключатель на ВН: ВВК – 110Б – 20.

Осуществление выбора измерительных трансформаторов тока.

Выбор трансформатора тока в цепи выключателя (ЦВ) сводится к выбору тока первичной обмотки, ближайшего к расчетному току» [7]:

$$I_{1ном} > I_{расч}, \quad (46)$$

где  $I_{\text{ном}}$  – «номинальный ток первичной обмотки встроенного трансформатора тока;

$I_{\text{расч}}$  – расчетный ток в ЦВ,  $I_{\text{расч}} = 65,907 \text{ А}$ » [7].

«Выбирается: ТГФ–II 110–300/5 [13]. В таблице 19 приведены номинальные данные трансформатора тока.

Трансформатор тока в цепи силового трансформатора.

Выбирается: ТВТ110–I–300/5. В таблице 20 приведены номинальные данные трансформатора тока» [7].

Таблица 20 – Номинальные данные трансформаторов тока

Величина	Данные ТГФ–II 110–400/5	Данные ТВТ–110–1–300/5
U, кВ	110	110
$I_{1Н}$ , А	300	300
$I_{2Н}$ , А	5	5
$B_k$ , кА $^2 \cdot c$	$202 \cdot 3 = 1200$	$252 \cdot 3 = 1875$

## 6.2 Выбор и проверка оборудования на стороне ВН

Выбор комплектного РУ 10 кВ.

Выбираем ячейки серии КСО–202 оборудованные вакуумным выключателем ВВП–10–20/1000 УЗ. Основные технические характеристики ячейки КСО 202 приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Основные технические характеристики ячейки КСО 202

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение (линейное), кВ	6; 10
Максимальное рабочее напряжение (линейное), кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	1000; 1250; 1600
Номинальный ток отключения, кА	0,630; 4; 12,5; 16; 20; 25; 31,5
Ток термической стойкости (трехсекундный ток), кА	20; 25; 31,5
Ток электродинамической стойкости, кА	51; 62,5; 80
Номинальный ток трансформаторов тока, А	150; 200; 300; 400; 630; 800; 1000; 1500

Продолжение таблицы 21

Наименование параметра	Значение
Номинальный ток сборных шин, А	630; 1000; 1600
Номинальный ток шинных мостов, А	630; 1000; 1600
Высота над уровнем моря не более, м	1000
Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В:	-
– цепи защиты, управления, сигнализации постоянного и переменного тока, В	220
– цепи трансформаторов напряжения, В	100
– цепи трансформаторов собственных нужд, В	220; 380
– цепи освещения внутри камеры КСО, В	36; 220
Ток плавкой вставки силового предохранителя, А	2; 3,2; 5; 8; 10; 16; 20; 31,5; 160
Типы устанавливаемых защит	Sepam, SPAC, REF, ТЭМП2501, Сириус, БМРЗ, электромеханические (2110)
Габаритные размеры (Ш×В×Г), мм	750×1100×2650

«Выбор и проверка выключателей.

Выбор вакуумных выключателей производится аналогично выбору выключателей со стороны ВН. Определяются токи для ячейки ввода, секционной ячейки и ячейки отходящих линий:

Для ячейки отходящих линий» [7]:

$$I_{расч. макс. i} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}}, \quad (47)$$

где  $S_{ном}$  – «номинальная мощность трансформатора,

$S_{max}$  – мощность наиболее крупного потребителя» [7].

Для ячейки ввода:

$$I_{в.яв. расч. макс} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 923,76 \text{ А.}$$

Для секционной ячейки:

$$I_{в.с.расч.макс} = \frac{16000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 461,88 \text{ А.}$$

Для ячейки отходящих линий:

$$I_{в.о.л.расч.макс} = \frac{601,08}{\sqrt{3} \cdot 10} = 34,703 \text{ А.}$$

Выбор и проверка выключателей сводятся в таблицу 22.

Таблица 22 – Выбор и проверка выключателей на стороне НН

Тип выключателя	Номинальные данные выключателя	Расчетные данные
Ячейка ввода ВВП 10–20/1000УЗ	$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_C = 10 \text{ кВ}$
	$I_H = 1000 \text{ А}$	$I_{в.яв.расч.макс} = 923,76 \text{ А}$
	$i_{пр.с} = 50 \text{ кА}$	$i_y = 16,01 \text{ кА}$
	$B_K = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 58,38 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$I_{отк.в.} = 20 \text{ кА}$	$I_K = 8,708 \text{ кА}$
Секционная ячейка ВВП 10–20/630УЗ	$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_C = 10 \text{ кВ}$
	$I_H = 630 \text{ А}$	$I_{в.с.расч.макс} = 461,88 \text{ А}$
	$i_{пр.с} = 50 \text{ кА}$	$i_y = 16,01 \text{ кА}$
	$B_K = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 35,64 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$I_{отк.в.} = 20 \text{ кА}$	$I_K = 8,708 \text{ кА}$
Ячейка отходящей линии ВВП 10–20/630УЗ	$U_H = 10 \text{ кВ}$	$U_C = 10 \text{ кВ}$
	$I_H = 630 \text{ А}$	$I_{в.о.л.расч.макс} = 34,703 \text{ А}$
	$i_{пр.с} = 50 \text{ кА}$	$i_y = 16,01 \text{ кА}$
	$B_K = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 12,89 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$I_{отк.в.} = 20 \text{ кА}$	$I_K = 8,708 \text{ кА}$

«Осуществление выбора и проверки измерительных трансформаторов тока.

Рассмотрим, как осуществляется выбор трансформатора тока. Он выбирается следующим образом:

- по номинальному току;
- по номинальному напряжению;
- по роду установки;

Трансформаторы тока проверяются следующим образом:

– на термическую стойкость трансформатора тока, по формуле» [7]:

$$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K, \quad (48)$$

где  $I_T$  – «это предельный ток термической стойкости, кА;

$t_T$  – это продолжительность протекания данного тока, с;

$B_K$  – это тепловой импульс тока короткого замыкания, кА<sup>2</sup>·с.

– на динамическую стойкость трансформатора тока, по формуле» [7]:

$$I_{y\text{тт}} \geq I_y, \quad (49)$$

где  $I_{y\text{тт}}$  – «это ударный ток, кА.

– по вторичной мощности трансформатора тока, по формуле» [7]:

$$S_{\text{тт}} \geq S_{\text{расч}}, \quad (50)$$

где  $S_{\text{тт}}$  – «это номинальная вторичная нагрузка, вар;

$S_{\text{расч}}$  – это расчетная мощность нагрузки, которая подключена к ТТ, вар» [7].

$$S_{\text{тт}} = I_{2\text{н}}^2 \cdot r, \quad (51)$$

где  $I_{2\text{н}}$  – «номинальный ток вторичной обмотки ТТ, А;

$r$  – номинальная нагрузка, Ом» [7].

$$S_{\text{расч}} = I_{2\text{н}}^2 \cdot r_2, \quad (52)$$

где  $r_2$  – полное сопротивление внешней цепи, Ом.

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{конт}}, \quad (53)$$

где  $r_{\text{приб}}$  – «сумма сопротивлений всех последовательно включённых обмоток приборов, Ом;

$r_{\text{пров}}$  – сопротивление соединительных проводов, Ом;

$r_{\text{конт}}$  – сопротивление контактных соединений (для трёх приборов  $r_{\text{конт}} = 0,1$ ), Ом» [7].

$$r_{\text{приб}} = S_{\text{приб}} / I_{2\text{н}}^2, \quad (54)$$

где  $S_{\text{приб}}$  – «полная мощность всех приборов, которые непосредственно присоединены к трансформатору тока (осуществление расчета производится по самой загруженной фазе), вар» [7].

«В ячейках ввода, и вместе с тем в ячейках отходящих линий в целях контроля над токовой нагрузкой и над потребляемой энергией устанавливают амперметр и счетчик Евроальфа. Стоит отметить, что в секционной ячейке отсутствует необходимость контроля над потребляемой энергией, в связи с этим устанавливают лишь амперметр. На рисунке 4 представлена схема установки приборов» [7].

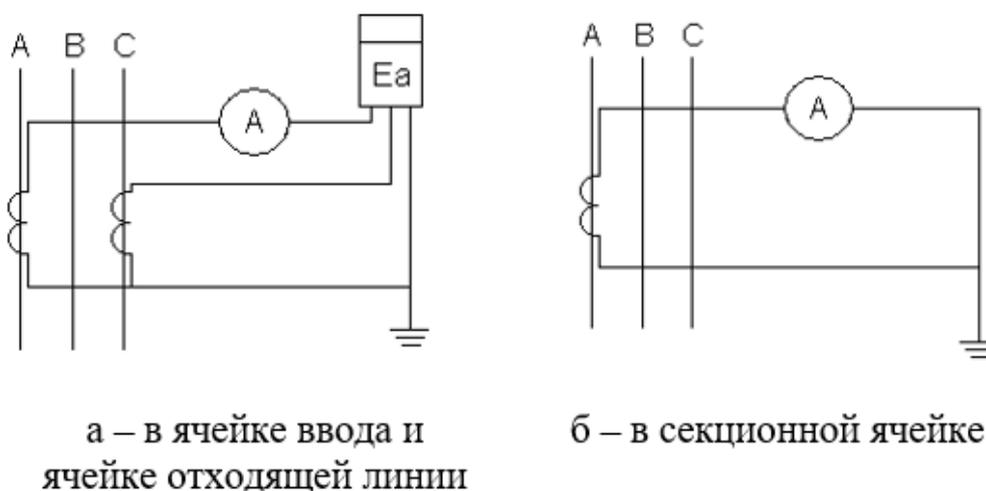


Рисунок 4 – Схема подключения приборов

«В таблице 23 представлена нагрузка приборов, которые непосредственно подключаются к трансформаторам тока. Счетчики типа «Евроальфа» [7].

Таблица 23 – Нагрузка приборов

Название прибора	Класс точности	Тип прибора	Нагрузка	
			фаза А	фаза С
Ячейка ввода и ячейка отходящей линии				
амперметр	1,5	Э377	0,1	–
счётчик активно–реактивной мощности	0.5	ЕА	2·2	2·2
Итого			4,1	4
Секционная ячейка				
амперметр	1,5	Э377	0,1	–
Итого			0,1	–

«Сопротивление соединительных проводов определяется по формуле» [7]:

$$r_{\text{пров}} = \rho \cdot l_{\text{расч}} / q, \quad (55)$$

где  $l_{\text{расч}}$  – «расчётная длина провода, метров;

$\rho$  – удельное сопротивление данного провода;

$q$  – сечение проводов, мм<sup>2</sup>» [7].

$$l_{\text{расч}} = m \cdot l, \quad (56)$$

где  $l$  – «длина проводов, метров;

$m$  – коэффициент, который зависит от схемы включения» [7].

«Выбирается и проверяется трансформатор тока ячейки ввода. В таблице 23 сведен выбор и проверка всех других трансформаторов тока.

ТЛК–10–1000/5 непосредственно выбирают с двумя вторичными обмотками для релейной защиты и измерительных приборов. Ток электродинамической стойкости составляет 81 кА, класс точности 0,5.

Номинальная нагрузка составляет 0,4 Ом. Трехсекундный ток термической стойкости равен 31,5 кА» [13].

«Для монтажа принимают медные провода.  $l = 4$  метров.  $q = 4$  мм<sup>2</sup>.  $\rho = 4,6$  Ом·км» [8].

$$l_{расч} = \sqrt{3} \cdot 4 = 6,93 \text{ м};$$

$$r_{пров} = \frac{4,6 \cdot 10^{-6} \cdot 6,93 \cdot 10^3}{4} = 0,008 \text{ Ом};$$

$$r_{приб} = \frac{4,1}{5^2} = 0,164 \text{ Ом};$$

$$r_2 = 0,164 + 0,008 + 0,1 = 0,272 \text{ Ом};$$

$$I_{расч} = 5^2 \cdot 0,272 = 6,8 \text{ ВА};$$

$$S_{тт} = 5^2 \cdot 0,4 = 10 \text{ ВА}.$$

«Выбор и проверка трансформаторов тока приведены в таблице 24» [8].

Таблица 24 – Выбор и проверка трансформаторов тока

Наименование величины	Данные ТЛК – 10	Расчетные данные
	Ячейка ввода	
U, кВ	10	10
I, А	1000	923,76
I <sub>y</sub> , кА	81	16,01
I <sub>T</sub> <sup>2</sup> ·t <sub>T</sub> , кА <sup>2</sup> с	31,5 <sup>2</sup> ·3 = 2976,75	58,38
S, ВА	10	6,8
	Секционная ячейка	
U, кВ	10	10
I, А	500	461,88
I <sub>y</sub> , кА	81	16,01
I <sub>T</sub> <sup>2</sup> ·t <sub>T</sub> , кА <sup>2</sup> с	20 <sup>2</sup> ·3 = 1200	35,64
S, ВА	10	1,465
	Ячейка отходящей линии	
U, кВ	10	10
I, А	50	34,703
I <sub>y</sub> , кА	81	16,01
I <sub>T</sub> <sup>2</sup> ·t <sub>T</sub> , кА <sup>2</sup> с	31,5 <sup>2</sup> ·3 = 2976,75	12,89
S, ВА	10	6,8

«Трансформаторы тока условиям выбора и проверки удовлетворяют. Выбор и проверка измерительных трансформаторов напряжения» [7]. Они выбираются следующим образом:

- первый параметр – это класс точности;
- второй параметр – это конструкция;
- третий параметр – это «номинальное напряжение».

Трансформаторы напряжения предназначены для преобразования высокого напряжения электрической сети в низкое напряжение, которое может быть использовано для измерения» [14], контроля и защиты в электроустановках. Они служат для обеспечения безопасности и надежности работы системы электроснабжения, позволяя точно измерять параметры электрической сети и контролировать состояние оборудования. По [12] осуществляем выбор «двух трансформаторов напряжения. Принимаем трёхфазный трансформатор напряжения с естественным масляным охлаждением для измерительных приборов для внутренней установки типа НАМИТ–10–2 УХЛ2. Номинальные данные трансформатора напряжения приведены в таблице 25» [7].

Таблица 25 – Номинальные данные трансформатора напряжения

U <sub>н</sub> , кВ	Номинальное напряжение обмоток, В			Номинальная мощность, В·А, в классе точности 0,5
	первичной	основной вторичной	дополнительной вторичной	
10	10000	100	100/3	120

«Проверка трансформаторов напряжения осуществляется по вторичной мощности, по следующей формуле» [7]:

$$S_{\text{тн}} \geq S_{\text{расч}}, \quad (57)$$

где  $S_{\text{тн}}$  – «это номинальная вторичная нагрузка, ВА;

$S_{\text{расч}}$  – это расчетная мощность приборов, которые подключены к трансформатору, ВА» [7].



«Выбор трансформаторов собственных нужд.

Мощность, расходуемая на собственные нужды ГПП, составляет приблизительно 1 процент от полной мощности подстанции» [7]:

$$S_{сн} = 0,01 \cdot S_{\max}, \quad (58)$$

где  $S_{сн}$  – «мощность собственных нужд ГПП;

$S_{\max}$  – полная мощность ГПП» [7];

$$S_{сн} = 0,01 \cdot 27,64 = 0,276 \text{ МВА.}$$

Мощность ТСН будет равна:

$$S_{тсн} = k_c \cdot S_{сн} \quad (59)$$

где  $k_c$  – коэффициент спроса, равный (0,7–0,8),

$$S_{тсн} = 0,8 \cdot 0,276 = 221 \text{ кВА.}$$

«Выбирается 2 трансформатора типа ТМ–250/10/0,4, которые имеют номинальную мощность 250 кВА.

Осуществление выбора предохранителей для защиты ТСН и ТН.

Ниже приведены условия выбора предохранителей:

Первый параметр – это отключающая способность;

Второй параметр – это номинальный ток сети;

Третий параметр – это номинальное напряжение сети.

Для трансформатора собственных нужд» [17]:

$$I_{расч} = \frac{S_{полн}}{\sqrt{3}U_{нн}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,434 \text{ А.}$$

«В целях защиты трансформаторов напряжения осуществляется выбор предохранителя токоограничивающего, имеющего кварцевое наполнение типа ПKN 001–10 У3, с такими характеристиками:

- ток отключения – 8 кА.
- номинальное напряжение – 10 кВ;

$$3,131 \text{ кА} < 8 \text{ кА}.$$

По [8] в целях защиты трансформаторов собственных нужд осуществляется выбор предохранителя токоограничивающего, имеющего кварцевое наполнение типа ПКТ 101–10–10–31,5 У3, с такими характеристиками:

- ток отключения – 31,5 кА;
- номинальный ток – 10 А.
- номинальное напряжение – 10 кВ» [8].

$$8,708 \text{ А} < 10 \text{ А};$$

$$3,131 \text{ кА} < 31,5 \text{ кА}.$$

Эти предохранители удовлетворяют условиям проверки.

Выводы по разделу.

В шестом разделе ВКР выбрано электрооборудование предприятия. На стороне ВН ГПП выбраны высокочастотные заградители ВЗ–630–0,5У1, разъединители РГП–110/1250 УХЛ1, выключатели ВВК – 110Б – 20, трансформаторы ТГФ–II 110–300/5 и ТВТ110–I–300/5, ограничители перенапряжений ОПН–110У1. В нейтрали трансформатора устанавливается заземлитель ЗОН–110М–1У1. Выбрано и проверено оборудование токоведущих частей на стороне 10 кВ. Выбраны ячейки серии КСО–202 оборудованные вакуумным выключателем ВВП–10–20/1000 У3 и трансформаторами тока ТЛК–10. Трансформаторы тока НАМИТ–10–2 УХЛ2.

## 7 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

«Расчет защитных характеристик автоматов подстанции ТП–8.

Расчет защитной характеристики автомата» [23] отходящей линии.

Расчет ведется для автомата, защищающего отходящую кабельную линию, которая питает ШРА–1 РМЦ.

Параметры ШРА–1:

$$I_{\text{раб}} = 43,28 \text{ А}; S = 28,49 \text{ кВА}; \cos(\varphi) = 0,88.$$

Выбор номинального тока автомата:

$$I_{\text{выкл.ном}} \geq K_{\text{зап}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (60)$$

$$I_{\text{выкл.ном}} = 43,28 \cdot 1,1 = 47,608 \text{ А},$$

где  $K_{\text{зап}}$  – коэффициент запаса, для автоматов серии ВА [22].

Для защиты линии принимается автомат ВА 13–29.

Настройка защитной характеристики автомата:

Номинальный ток расцепителя выбирается из условия  $I_{\text{ном.рц}} \geq I_{\text{раб.макс}}$ :

$$I_{\text{ном.рц}} = 50 \text{ А}.$$

$$50 \text{ А} > 43,28 \text{ А}.$$

«Ток срабатывания третьей ступени защиты автомата (максимальная токовая защита)» [23]:

$$I_{\text{ср.защ}}^{\text{III}} = K_{\text{зап}}^{\text{III}} \cdot I_{\text{ном.рц}}, \quad (61)$$

$$I_{\text{ср.защ}}^{\text{III}} = 1,25 \cdot 50 = 62,5 \text{ А}.$$

«Время срабатывания третьей ступени защиты при токе  $6 \cdot 50 = 300 \text{ A}$  устанавливается  $t_{\text{ср.защ.}}^{\text{III}} = 4 \text{ с}$ .

Ток допустимой перегрузки кабельной линии питающей ШРА–1» [23]:

$$I_{\text{доп пер}} = I_{\text{раб макс}} \cdot 1,4 = 43,28 \cdot 1,4 = 69,592 \text{ A}.$$

«Ток срабатывания второй ступени защиты автомата» [23]:

$$I_{\text{ср.защ.}}^{\text{II}} = 2 \cdot I_{\text{рц ном}} = 2 \cdot 50 = 100 \text{ A}.$$

«Выдержка времени второй ступени защиты автомата устанавливается  $t_{\text{ср.защ.}}^{\text{II}} = 0,1 \text{ с}$ .

Ток срабатывания первой ступени защиты выключателя» [23]:

$$I_{\text{ср.защ.}}^{\text{I}} = 12 \cdot I_{\text{ном.рц}} = 12 \cdot 50 = 600 \text{ A}.$$

Оценка чувствительности.

Для автоматических выключателей коэффициент чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{K min}}}{I_{\text{ср.защ.}}} = \frac{4,34}{0,05} = 86,8 > 3, \quad (62)$$

где  $I_{\text{K min}}$  – минимальный ток КЗ.

Для сетей с глухозаземленной нейтралью и схемой соединения обмоток трансформатора  $\Delta / Y_0$  минимальным током короткого замыкания является однофазный ток короткого замыкания  $I_{\text{K}}^{(1)}$  в конце защищаемого участка,

$$I_{\text{K}}^{(1)} = 4,34 \text{ кА}.$$

Выбранный выключатель соответствует требованиям чувствительности.

«Расчет защитной характеристики секционного автомата» [23].

Расчет ведется для автомата, тип ВА, установленного между секциями шин трансформатора ТП–8.

Параметры трансформатора ТП–8:

$$S_n = 630 \text{ кВА}; n = 2 \text{ шт.}$$

Максимальный рабочий ток, протекающий через секционный выключатель, будет равен половине расчетного тока на шинах ТП–8:

$$I_{\text{раб.мах}} = \frac{I_{\text{расч}}}{2} = \frac{1192}{2} = 596 \text{ А.}$$

Выбор номинального тока автомата:

$$I_{\text{выкл.ном}} = 596 \cdot 1,1 = 655,6 \text{ А.}$$

Для защиты линии принимаем по [6] автомат ВА 55–41.

Находится номинальный ток расцепителя:

$$I_{\text{рц.ном}} \geq I_{\text{раб.макс}},$$
$$630 \text{ А} \geq 596 \text{ А.}$$

Ток срабатывания третьей ступени защиты автомата:

$$I_{\text{ср.защ.}}^{\text{III}} = 1,25 \cdot 630 = 787,5 \text{ А.}$$

«Время срабатывания третьей ступени защиты при токе  $6 \cdot 630 = 3780 A$  устанавливается  $t_{ср.защ.}^{III} = 8 с$

Ток допустимой перегрузки» [23]:

$$I_{доп пер} = 596 \cdot 1,4 = 834,4 A.$$

«Ток срабатывания второй ступени защиты автомата» [23]:

$$I_{ср.защ.}^{II} = 2 \cdot I_{рц ном} = 2 \cdot 630 = 1260 A.$$

«Выдержка времени второй ступени защиты автомата устанавливается  $t_{ср.защ.}^{II} = 0,2 с$ .

Ток срабатывания первой ступени защиты выключателя» [23]:

$$I_{ср.защ.}^I = 12 \cdot I_{ном.рц} = 12 \cdot 630 = 7560 A.$$

Оценка чувствительности:

$$I_K^{(1)} = 4,34 кА;$$

$$K_{ч} = \frac{4,34}{1,26} = 3,44 > 3.$$

Выбранный выключатель соответствует требованиям чувствительности.

«Расчет защитной характеристики вводного автомата» [23].

Расчет ведется для автомата, тип ВА, установленного на вводе п/ст ТП–

8.

Параметры трансформатора ТП–8:

$$S_H = 630 кВА; n = 2 шт.$$

Максимальный рабочий ток, протекающий через вводной выключатель, будет равен  $I_{расч}$  на шинах ТП–8:

$$I_{раб.мах} = I_{расч} = 1192 \text{ A.}$$

Выбор номинального тока автомата:

$$I_{выкл.ном} = 1192 \cdot 1,1 = 1311,2 \text{ A.}$$

Для защиты линии принимаем по таблице 4–10 /6/ автомат ВА 55–43. Находится номинальный ток расцепителя:

$$I_{рц.ном} \geq I_{раб.макс} \\ 1280 \text{ A} \geq 1192 \text{ A.}$$

Ток срабатывания третьей ступени защиты автомата:

$$I_{ср.защ.}^{III} = 1,25 \cdot 1280 = 1600 \text{ A.}$$

«Время срабатывания третьей ступени защиты при токе  $6 \cdot 1280 = 7680 \text{ A}$  устанавливается  $t_{ср.защ.}^{III} = 16 \text{ с}$

Ток допустимой перегрузки» [23]:

$$I_{доп пер} = 1192 \cdot 1,4 = 1668,8 \text{ A.}$$

«Ток срабатывания второй ступени защиты автомата» [23]:

$$I_{ср.защ.}^{II} = 2 \cdot I_{рц ном} = 2 \cdot 1280 = 2560 \text{ A.}$$

Выдержка времени второй ступени защиты автомата устанавливается

$$t_{\text{ср.защ.}}^{\text{II}} = 0,3 \text{ с.}$$

Ток срабатывания первой ступени защиты выключателя:

$$I_{\text{ср.защ.}}^{\text{I}} = 12 \cdot I_{\text{ном.рц}} = 12 \cdot 1280 = 15360 \text{ А.}$$

Оценка чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{13625}{2560} = 5,32 > 3.$$

Выбранный выключатель соответствует требованиям чувствительности.

Карта селективности автоматов ТП–8 показана на рисунке 6.

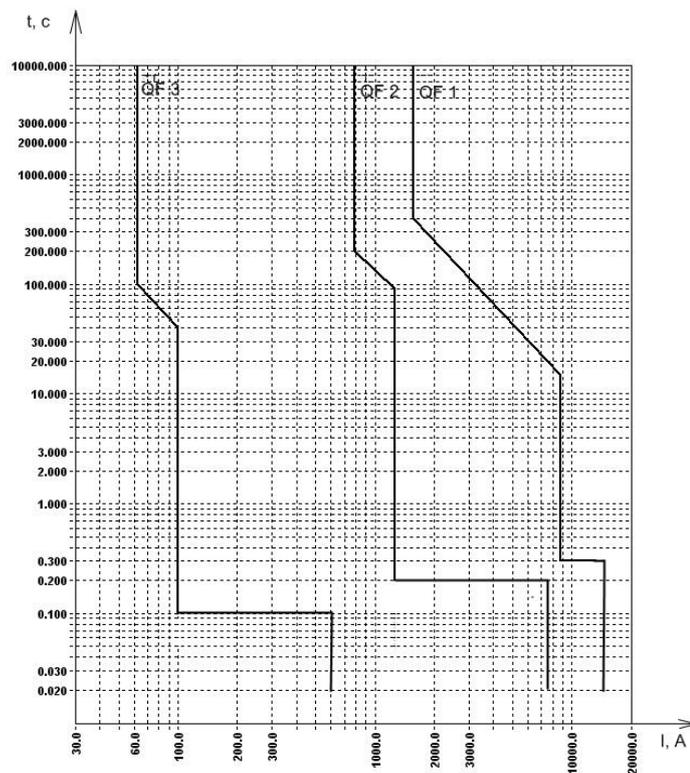


Рисунок 6 – Карта селективности автоматов ТП–8

Релейная защита кабельной линии и трансформатора ТП–8.

Для защиты трансформаторов ТП–8, принимается микропроцессорный блок SPAC 810 [20].

МТЗ со стороны 10 кВ.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{\text{ср.защ.}} = \frac{K_{\text{сзн}} \cdot K_{\text{н}} \cdot I_{\text{раб.}}}{K_{\text{в}}}, \quad (63)$$

где  $K_{\text{н}}$  – коэффициент надежности реле;

$K_{\text{в}}$  – коэффициент возврата реле, для SPAC  $K_{\text{в}} = 0,96$  [20];

$$I_{\text{ср.защ.}} = \frac{1,3 \cdot 1,1 \cdot 18,11}{0,96} = 26,98 \text{ А.}$$

Время срабатывания защиты:

$$t_{\text{ср.защ.}} = t_{\text{сраб.авт.}} + \Delta t, \quad (64)$$

где  $t_{\text{сраб.авт.}}$  – время срабатывания вводного автомата на стороне 0,4 кВ, для автомата ВА 55–43,  $t_{\text{сраб.авт.}} = 0,3$  с. при коротком замыкании на стороне НН трансформатора ТП–8;

$\Delta t$  – ступень селективности, для SPAC  $\Delta t = 0,3$  с [20].

$$t_{\text{сраб.защ.}} = 0,3 + 0,3 = 0,6 \text{ с.}$$

Ток короткого замыкания на стороне 0,4 кВ:

$$I_{\text{к.з0,4}}^{(3)} = \frac{100}{U_{\text{к}} \%} \cdot I_{\text{ном}} = \frac{100}{5,5} \cdot 1192 \cdot \frac{0,4}{10,5} = 825,628 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 825,628}{26,98} = 26,502 > 1,5.$$

На основании вышеприведённого расчета можно сделать вывод, что МТЗ проходит по чувствительности.

Коэффициент чувствительности в режиме резервирования:

При ближнем резервировании:

$$K_{\text{ч}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 8708}{26,98} = 279,516 > 1,5.$$

На основании вышеприведённого расчета можно сделать вывод, что МТЗ проходит по чувствительности.

При дальнем резервировании:

$$K_{\text{ч}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3131}{26,98} = 100,5 > 1,2.$$

На основании вышеприведённого расчета можно сделать вывод, что МТЗ проходит по чувствительности.

Ток срабатывания ТО:

$$I_{\text{co}} \geq K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{кзмакс}} \quad (65)$$

$$I_{\text{с.о.}} = 1,2 \cdot 825,628 = 990,754 \text{ А};$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3131}{990,754} = 2,737 > 2.$$

На основании вышеприведённого расчета можно сделать вывод, что ТО проходит по чувствительности.

Ток срабатывания защиты от симметричных перегрузок:

$$I_{с.з.пер} = \frac{k_n \cdot I_{раб}}{k_г} = \frac{1,1 \cdot 18,11}{0,96} = 20,75 \text{ A.}$$

Выдержка времени защиты от симметричных перегрузок принимается:  
 $t_{пер} = 9$  с. Защита действует на сигнал.

Выбор и проверка трансформаторов тока.

По  $I_{раб}$  кабельной линии выбирается трансформатор тока ТПЛК–10 100/5 с предельной кратностью нагрузки во вторичной обмотке  $m_{10\%} = 12$

$$m = \frac{1,1 \cdot I_{ср.защ}}{I_{1Г}} = \frac{1,1 \cdot 990,754}{100} = 10,89 \text{ A.}$$

$$10,89 \text{ A} < 12 \text{ A,}$$

условие выполняется, трансформатор тока выбран верно.

Для защиты от ОЗЗ совместно с микропроцессорным блоком СПАС применяются специальные трансформаторы тока нулевой последовательности. Выбирается ТНП типа ТЗЛМ с  $U_n = 10$  кВ;  $I_{н1} = 20$  А:

$$I_{н2} = 38 \text{ мкА.}$$

ТП–8 питается от КЛ со следующими параметрами: кабель АПвП–(3×25),  $l=219$  м,  $I_{с0}=0,62$  А/км [8].

$$I_{с.фид.мах} = I_{с0} \cdot l \cdot m, \quad (66)$$

где  $l$  – длина линии, км.

$$I_{с.фид.мах} = 0,62 \cdot 0,219 \cdot 2 = 0,272 \text{ A};$$

$$I_{знз} = 3 \cdot I_{с.фид.мах} = 3 \cdot 0,272 = 0,816 \text{ A}.$$

Так как ток замыкания на землю  $0,816 \text{ A} < 3 \text{ A}$ , то тип защиты неселективная сигнализация.

Ток срабатывания защиты от ОЗЗ в сети 10 кВ:

$$I_{ср.з.защ.} = k_{отс} \cdot I_{знз} = 4 \cdot 0,816 = 3,264 \text{ A};$$

$$I_{ТПП} = 2 \cdot I_{кл} - I_{кл} = 18,11 \cdot 2 - 18,11 = 18,11 \text{ A};$$

$$K_q = \frac{I_{ТПП}}{I_{ср.з.защ.}} = \frac{18,11}{3,264} = 5,54 > 1,25.$$

Выводы по разделу.

В седьмом разделе ВКР проведен расчет релейной защиты автоматических выключателей ТП-8, а также кабельной линии от ГПП до ТП-8 и силового трансформатора ТП-8. Выбранные устройства релейной защиты и автоматики спроектированы с учетом требований к надежности работы системы электроснабжения. Это важно для обеспечения бесперебойной работы предприятия и предотвращения возможных аварий. Правильный выбор устройств релейной защиты и автоматики играет ключевую роль в обеспечении эффективного и безопасного функционирования системы электроснабжения предприятия, специализирующегося на ремонте механического оборудования.

## 8 Расчет заземления и молниезащиты

### 8.1 Расчёт заземления

«Для заземления используются стержни длиной 2,5 метра и диаметром 6 мм.

Число электродов» [21]:

$$n_{эл} = \frac{R_{од}}{R_з \cdot \eta_{ис}}, \quad (67)$$

$$R_{од} = 0,00308 \cdot \rho = 0,00308 \cdot 0,13 \cdot 10^4 = 4,004 \text{ Ом};$$

$$n_{эл} = \frac{4,004}{0,5 \cdot 0,6} = 13.$$

Расстояние между электродами определяется:

$$a = \frac{\Pi}{n_{эл}}, \quad (68)$$

где  $\Pi$  – «периметр подстанции с учетом заземляющего контура» [21].

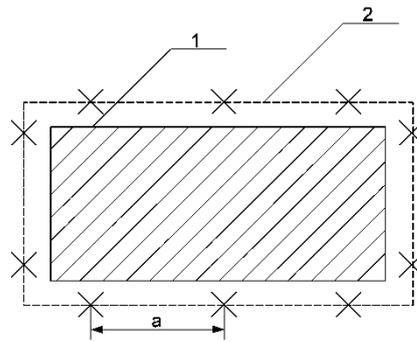
$$\Pi = 200 + 24 = 224 \text{ м};$$

$$a = \frac{224}{13} = 17 \text{ м}$$

$$R_{\Sigma} = 13 \cdot 4,004 = 52,052 \text{ Ом}$$

Проверка:  $a > 3 \text{ м}$  – условие проверки выполняется. При данном числе электродов обеспечено допустимое суммарное сопротивление заземляющего контура.

Расположение электродов при заземлении приведено на рисунке 7.



1 – ограждение подстанции, 2 – заземляющий контур

Рисунок 7 – Расположение электродов при заземлении

## 8.2 Расчёт грозозащиты подстанции

Необходимо сказать о том, что прямой удар выступает в качестве самого серьезного последствия молнии (если говорить в данном случае о поражении построек). В настоящее время для обеспечения эффективной защиты от такого рода ударов самыми популярными являются следующие виды молниеотводов: тросовые и стержневые.

В целях обеспечения защиты технологического оборудования, которое находится на подстанции, нами будут приняты четыре молниеотвода, которые имеют следующие характеристики:  $a = 60$  метров,  $b = 40$  метров, высота – 19 метров.

«Схема установки грозозащиты подстанции приведена на рисунке 8» [21].

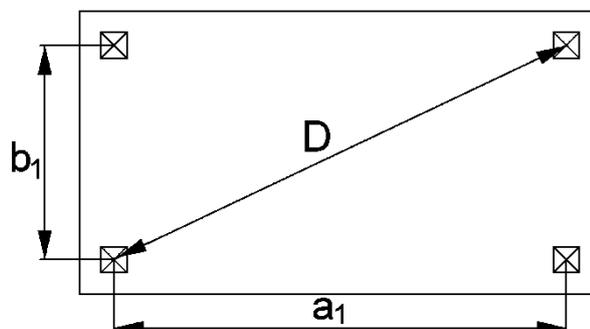


Рисунок 8 – Схема установки грозозащиты подстанции

«Необходимым условием защищенности всей площади подстанции является» [7]:

$$D \leq 8 \cdot h_A, \quad (69)$$

где  $D$  – наибольшая диагональ четырехугольника:

$$D = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} = \sqrt{54^2 + 37^2} = 65,46 \text{ м},$$

$h_A$  – активная высота молниеотвода:

$$h_A = h - h_X, \quad (70)$$

где  $h$  – «полная высота молниеотвода,

$h_X$  – высота защищаемых объектов» [21].

$$h_A = 19 - 5,5 = 13,5 \text{ м},$$

$$65,46 \text{ м} < 8 \cdot 13,5 = 108 \text{ м}.$$

условие выполняется, таким образом, принятая  $h$  молниеотводов поспособствует надлежащей защите от молнии электрооборудования хозяйствующего субъекта

Выводы по разделу.

В восьмом разделе ВКР рассчитано заземление и молниезащита ГПП предприятия. Результаты расчетов позволили выбрать оптимальные технические решения для заземления и молниезащиты, такие как тип и расположение заземлителей, параметры молниезащитных устройств и их распределение по объекту. Проведенные расчеты и выбранные решения обеспечивают эффективную защиту электрооборудования от перенапряжений, а также обеспечивают безопасность персонала и окружающей среды.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе разработан проект системы электроснабжения завода по ремонту механического оборудования. В ходе выполнения этой работы были проведены различные этапы анализа, проектирования и расчета, направленные на создание надежной и эффективной системы электропитания для обеспечения безаварийной работы предприятия.

Рассмотрена характеристика предприятия, выбрана система электроснабжения. Первоначальный этап работы включал в себя анализ потребностей предприятия в электроэнергии и электрическом оборудовании, учитывая специфику ремонтной деятельности и требования к надежности электроснабжения.

Выбрано напряжение питающей и распределительной сетях, силовой и осветительной сетях. Рассчитаны нагрузки предприятия. Выбрано место установки ГПП, РП, ТП. Построен годовой график нагрузки. Выбраны силовые трансформаторы на ГПП и ЦТП. Проведен расчет компенсации реактивной мощности, который показал, что ввиду незначительной величины некомпенсированной реактивной нагрузки на стороне НН, недостающая ее часть покрывается перетоком реактивной мощности из сети ВН.

Рассчитана распределительная сеть завода. Рассчитаны токи КЗ. Выбрана и обоснована главная схема электрических соединений ГПП с учетом оптимального распределения нагрузок. Выбрано и проверено оборудование и токоведущие части на стороне 110 кВ с учетом энергетических потребностей предприятия, обеспечивающее эффективное и безопасное функционирование системы. Выбраны питающие линии АС–120/19. На стороне ВН выбраны высокочастотные заградители ВЗ–630–0,5У1, разъединители РГП–110/1250 УХЛ1, выключатели ВВК – 110Б – 20, трансформаторы ТГФ–II 110–300/5 и ТВТ110–I–300/5, ограничители перенапряжений ОПН–110У1. Кроме ОПН в нейтрали трансформатора устанавливается заземлитель ЗОН–110М–1У1.

Выбрано и проверено оборудование токоведущих частей на стороне 10 кВ. Выбраны ячейки серии КСО–202 оборудованные вакуумным выключателем ВВП–10–20/1000 УЗ и трансформаторами тока ТЛК–10. Трансформаторы тока НАМИТ–10–2 УХЛ2. Для питания собственных нужд ГПП приняты к установке трансформаторы собственных нужд ТМ–250/10/0,4. Рассчитаны защитные характеристики автоматов подстанции ТП–8, а также релейная защита кабельной линии и трансформатора ТП–8.

Рассчитаны заземляющие устройства и грозозащита ГПП. Результаты расчетов позволили выбрать оптимальные технические решения для заземления и молниезащиты, такие как тип и расположение заземлителей, параметры молниезащитных устройств и их распределение по объекту. Проведенные расчеты и выбранные решения обеспечивают эффективную защиту электрооборудования от перенапряжений, а также обеспечивают безопасность персонала и окружающей среды.

Все разработанные решения соответствуют действующим техническим стандартам и нормативам в области электробезопасности и энергоэффективности. Разработанный проект представляет собой основу для построения надежной и современной системы электроснабжения предприятия, способной обеспечить стабильную работу оборудования и безопасные условия труда.

В целом, разработанный проект системы электроснабжения представляет собой комплексный подход к обеспечению электробезопасности и эффективного энергоснабжения предприятия, что является основой для успешной деятельности и развития бизнеса в сфере ремонта механического оборудования.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. М. : Высшая школа. 2006. 394 с.
2. Бакшаева Н.С. Расчёт электрических нагрузок, учебно–справочное пособие. Киров: Издательство ВятГУ, 2008. 129 с.
3. Барыбина Ю.Г., Фёдорова Л.Е. Справочник по проектированию электроснабжения. М. : Энергоатомиздат, 2010. 547 с.
4. Вагин Г.Я. Пособие по дипломному проектированию для студентов специальности 1004 "Электроснабжение". Н.Новгород, НГТУ, 2004. 137 с.
5. Васильева А.А. Электрическая часть станций и подстанций. М. : Энергия, 2010. 286 с.
6. Герасимов В.Г. Электротехнический справочник том 4. 8 изд. М. : МЭИ, 2002. 696 с.
7. ГОСТ 14209–97. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов // Консультант плюс: справочно-правовая система
8. ГОСТ 28249–93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока до 1 кВ» // Консультант плюс: справочно-правовая система
9. Кабышев А.В. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию. Томск. : Томский политехнический университет. 2005. 168 с.
10. Каменский М.К. Инструкция по эксплуатации кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6,10,20,35 кВ. ОАО «ВНИИКП».
11. Киреева Э.А., Цырук С.А. Справочник электрика. М: Колос, 2007. 464 с.
12. Кудрин Б.И. Методическое пособие к курсовому проекту по ЭПП. – О.: ИПК ОГУ, 2000. 126 с.
13. Нелюбов В.М. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий.

Методические указания к выполнению дипломного проектирования по специальности «Электроснабжение». Оренбург : ОГУ, 2019. 28 с.

14. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: справочник : учебное пособие. М.: ФОРУМ: ИНФРА–М, 2006. 408 с.

15. Пилипенко В.Т., Пилипенко О.И. Аналитический расчет трехфазного короткого замыкания: Методические указания к курсовым и дипломным работам и проектам. Оренбург : ГОУ ОГУ, 2003. 18 с.

16. Правила устройства электроустановок. Издание седьмое // Консультант плюс: справочно-правовая система

17. Рожин А. Н., Бакшаева Н. С. Внутрицеховое электроснабжение. Учебное пособие для выполнения курсового и дипломного проектов. Киров: Изд–во ВятГУ, 2006. 258 с.

18. РТМ 36.18.32.4–92. Методика расчета электрических нагрузок // Консультант плюс: справочно-правовая система

19. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. РД 153–34.0–20.527–98 // Консультант плюс: справочно-правовая система

20. Устройство микропроцессорной защиты «SPAC 810». Техническое описание, инструкция по эксплуатации, паспорт. М.: НПФ ООО «АББ Автоматизация». 2017. 36 с.

21. Фёдорова А.А., Сербиновского Г.В. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. М. : Энергия, 2011. 698 с.

22. Фёдоров А.А. , Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования Москва , Энергоатомиздат, 2007. 385 с.

23. Шабад М.А, Расчет релейной защиты и автоматики распределительных сетей. СПб.: ПЭИПК. 2003. 125 с.

24. Шидловский А.К. Расчеты электрических нагрузок систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат. 1992.

25. Ящура А.И. Справочник техобслуживания и ремонта электрооборудования. М.: Издательство НЦ ЭНАС. 2006. 504 с.