

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 Разработка системы электроснабжения завода тяжелого  
машиностроения г.Сызрань

Студент	<u>С. В. Суродеев</u>	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Руководитель	<u>к.п.н., доцент, М.Н. Третьякова</u>	
	(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)	

Тольятти 2020

## **АННОТАЦИЯ**

Выпускная квалификационная работа (ВКР) посвящена разработке системы электроснабжения вновь строящегося завода тяжелого машиностроения, расположенного в г.Сызрань

ВКР содержит четыре взаимосвязанных раздела, включая анализ особенностей технологического процесса и системы электроснабжения предприятия, расчет электрических нагрузок и выбор электрооборудования для разрабатываемой системы электроснабжения завода, расчет и выбор аппаратов релейной защиты, а также раздел, посвященный разработке мероприятий по электробезопасности на заводе.

При выборе предлагаемого к установке оборудования использовались актуальные источники информации и действующая нормативная база.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки на 82 страницах и графической части на 6 листах А1.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 Анализ особенностей технологического процесса и системы электроснабжения завода тяжелого машиностроения г. Сызрань.....	8
1.1 Анализ особенностей технологического процесса и системы электроснабжения завода тяжелого машиностроения г. Сызрань.....	8
1.2 Характеристика объекта исследования.....	10
1.3 Структура и штаты цехов .....	11
2 Расчет электрических нагрузок и выбор электрооборудования для системы электроснабжения завода.....	14
2.1 Расчет электрических нагрузок машиностроительного предприятия, выбор числа, мощности трансформаторных подстанций установок с учетом компенсации реактивной мощности .....	14
2.2 Расчет распределительной сети предприятия .....	28
2.2.1 Выбор и расчет распределительной сети.....	28
2.2.2 Выбор и расчет защитных устройств на стороне низкого напряжения .....	32
2.2.3 Выбор комплектного распределительного устройства 10 кВ цехов и кабелей.....	38
2.2.4 Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП .....	44
2.2.5 Расчет и выбор типов и мощностей компенсирующих устройств на ГПП .....	46
2.2.6 Выбор схемы и оборудования распределительного устройства ГПП.....	47
3 Расчет и выбор аппаратов релейной защиты.....	59
3.1 Расчет токов короткого замыкания .....	59
3.2 Выбор параметров срабатывания дифференциальной защиты.....	62
3.3 Максимальная токовая защита трансформаторов ГПП .....	66

3.4 Защита от перегрузки трансформаторов ГПП .....	68
3.5 Газовая защита трансформатора.....	68
4 Разработка мероприятий по электробезопасности на заводе .....	70
4.1 Мероприятия по обеспечению электробезопасности на ГПП.....	70
4.2 Расчёт молниезащиты и заземления ГПП.....	71
4.2.1 Расчёт молниезащиты ГПП .....	71
4.2.2 Расчёт защитного заземления ГПП .....	73
4.3 Пожаро- и взрывобезопасность .....	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	77
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	79

## ВВЕДЕНИЕ

В ближайшее время в г. Сызрань начнет работу новый машиностроительный завод ООО «Тяжмаш», план которого представлен на рисунке 1.

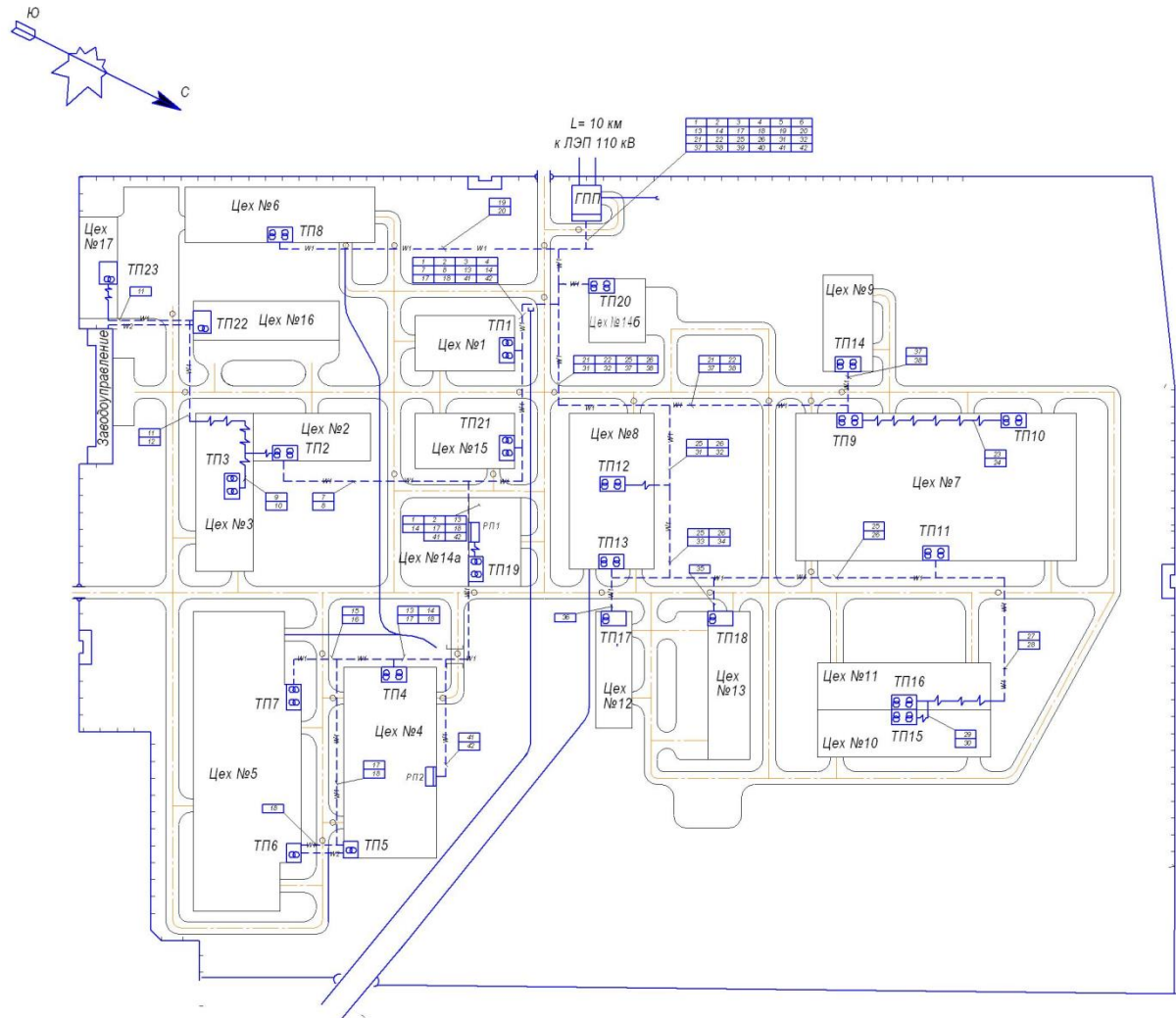


Рисунок 1 – План завода тяжелого машиностроения г.Сызрань

На этом предприятии будет выпускаться современное энергетическое оборудование для электростанций. На заводе планируется развивать шесть производственных направлений: теплоэнергетическое, дробильно-размольное, конвейерное оборудование, оборудование для АЭС, оборудование для цементной промышленности и специальное оборудование. Основной продукцией предприятия станут мельницы для размла твердого

топлива, лопатки и кожуха гидротурбин. Этим видом технологической деятельности будет заниматься комплекс основных и вспомогательных цехов [1]. Кроме того, на ООО «Тяжмаш» перспективными считают научные исследования по выпуску мини ГЭС.

Проект нового машиностроительного завода разрабатывался с учетом мировых тенденций в области машиностроения. Здесь предусматривается выполнение таких операций, как металлообработка, термообработка, сварка, окраска и т.п., обеспечивающих реализацию различных технологических процессов и выпуск качественной продукции.

Разнообразие технологических процессов обеспечивается за счет установки на предприятии электроприемников различного назначения. Это – печи, насосы, металлорежущие станки и другое оборудование. Качество выпускаемой продукции во многом зависит от правильного функционирования задействованных в технологическом процессе электроустановок. Бесперебойность и режимы работы электроприемников напрямую зависят от надежности системы электроснабжения предприятия (СЭС).

При разработке СЭС завода необходимо учитывать, что любое промышленное предприятие непрерывно развивается: вводятся новые производственные мощности, происходит ретрофит старого оборудования, совершенствуются технологии.

Поэтому актуальность темы выпускной квалифицированной работы определяется необходимостью качественного и бесперебойного электроснабжения машиностроительного завода с учетом его развития в будущем.

Цель выпускной квалификационной работы (ВКР) – обеспечение надежной работы электрооборудования за счет разработки системы электроснабжения для завода тяжелого машиностроения г. Сызрань.

# **1 Анализ особенностей технологического процесса и системы электроснабжения завода тяжелого машиностроения г. Сызрань**

## **1.1 Анализ особенностей технологического процесса и системы электроснабжения завода тяжелого машиностроения г. Сызрань**

При проектировании электроснабжения предприятия необходимо провести анализ его технологического процесса. Технологический процесс является основополагающим при выборе проектных решений. Например, на выбор схемы (радиальной или магистральной) на выбор оборудования (высоковольтный выключатель или отделитель) и т.п [7].

Машиностроительный завод ООО «Тяжмаш», для которого проектируется система электроснабжения, расположен в г. Сызрань. Это предприятие занимается в основном производством энергетического оборудования, которое находит применение в электростанциях. Существует шесть основных производственных направлений: теплоэнергетическое, дробильно-размольное, конвейерное оборудование, оборудование для АЭС, оборудование для цементной промышленности и специальное оборудование. На предприятии основной продукцией являются мельницы для размла твердого топлива, лопатки и кожуха гидротурбин. Этим занимается комплекс основных и вспомогательных цехов. В последние годы ведутся научные исследования по выпуску мини ГЭС. Технологический процесс состоит из ряда разных операций (термообработка, металлообработка, окраска, сварка и прочее), которые позволяют выпускать качественную продукцию.

Печи, насосы, металлорежущие станки и другое оборудование являются основными потребителями электроэнергии на проектируемом предприятии.

Одним из факторов, определяющих технические и экономические показатели проектируемой системы электроснабжения (СЭС) является категория потребителей в отношении обеспечения надежности электроснабжения.

Проектирование электроснабжения машиностроительного завода будем производить с учетом технологического процесса, категории по надежности электроснабжения, расположения оборудования и цехов. Ведомость электрических нагрузок по цехам предприятия указана в таблице 1.

Таблица 1– Ведомость электрических нагрузок предприятия

№ цеха	Наименование цеха	$P_{уст}$ , кВт	$\cos \varphi$	$K_{и}$	$K_{с}$
1	Механический	3147,2	0,6	0,2	0,23
2	Механический	4988,5	0,6	0,2	0,23
3	Механический	4558,58	0,6	0,2	0,23
4	Механосборочный	11007,4	0,65	0,3	0,365
5	Механосборочный	10738	0,65	0,3	0,365
6	Механосборочный	7715,2	0,76	0,3	0,365
7	Механосборочный (сварочный)	12623	0,76	0,35	0,4
8	Литейный	8691	0,75	0,35	0,5
9	Кузнечно-прессовый	5840,5	0,65	0,35	0,4
10	Термический	890	0,95	0,7	0,8
11	Гальванический	1408,7	0,95	0,7	0,8
12	Ремонтномеханический	1574	0,65	0,2	0,3
13	Модельный	1555	0,6	0,2	0,3
14а	Компрессорная	295,733	0,8	0,65	0,7
14б	Котельная	6817,6	0,65	0,2	0,36
15	Инструментальный	2963,5	0,6	0,2	0,23
16	Ремонтный по электрооборудованию	1750,9	0,6	0,2	0,3
17	Транспортный	529	0,7	0,65	0,7



## 1.2 Характеристика объекта исследования

К электроприемникам (таблица 2) 2 категории по надежности электроснабжения относятся потребители, перерыв в электроснабжении которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовому простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта.

Таблица 2 – Категорийность цехов по надежности электроснабжения и среда

№ цеха	Наименование цеха	Степень огнестойкости	Категория по эл.снабжению
1.	Механический	П П	II
2.	Механический	П П	II
3.	Механический	П П	II
4.	Механосборочный	П П	II
5.	Механосборочный	П П	II
6.	Механосборочный	П П	II
7.	Механосборочный (сварочный)	П П	II
8.	Литейный	П I	II
9.	Кузнечно-прессовый	П I	II
10.	Термический	П П	II
11.	Гальванический	П П	II
12.	Ремонтномеханический	П П	III
13.	Модельный	П П	III
14а	Компрессорная	П П	I
14б	Котельная	П П	I
15.	Инструментальный	П П	II
16	Ремонтный по электрооборудованию	П П	III
17	Транспортный	П П	III

На проектируемом заводе все электроприемники относятся в основном ко второй категории. Некоторые цеха и подразделения относятся к третьей

категории (транспортный цех, складские помещения, ремонтные цеха и тому подобное). К первой категории относится компрессорная.

Другим фактором, влияющим на выбор оборудования и марки проводников и т. п. является характеристика среды помещения (сухие, сырые, пыльные, пожароопасные и т. п.) [14]. В большинстве случаев помещения проектируемого завода являются сухими, то есть нормальными.

ПУЭ дает четкую формулировку производственных сред различных классов. Это необходимо учитывать при выполнении проектных работ по электроснабжению отдельных цехов и установок предприятия. На машиностроительном предприятии преобладает нормальная среда в помещениях. Однако небольшая часть цехов и их участков относятся по степени пожароопасности к классу П-I, а по степени взрывоопасности к зоне В-IA.

### **1.3 Структура и штаты цехов**

Структура и штаты любого цеха утверждаются генеральным директором предприятия по представлению начальника цеха в соответствии с матрицей ответственности и взаимосвязи, исходя из условий и особенностей производства, а также возложенного объема работ.

Обязанности между сотрудниками цеха, а также разграничение сфер ответственности между начальником цеха и сотрудниками осуществляются на основе должностных инструкций.

Структура управления ремонтно-механического цеха с указанием его основных подразделений представлена на рисунок 2.

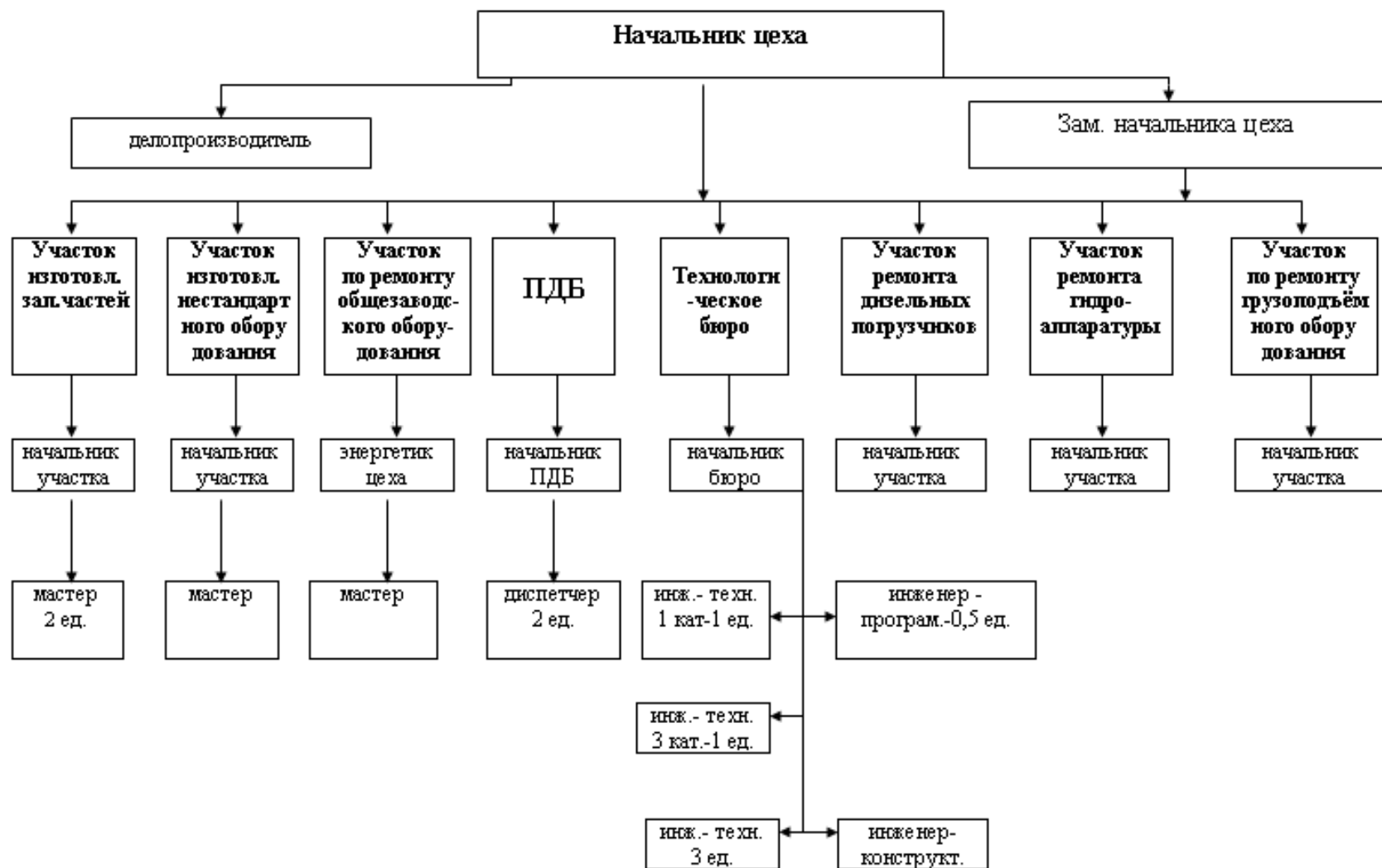


Рисунок 2 – Структура управления ремонтно-механического цеха

## Выводы по разделу 1

В первом разделе бакалаврской работы описаны теоретические основы проектирования систем электроснабжения производственных цехов, а также представлены общие сведения о предприятии, приведено описание технологического процесса, определены категории цехов по надежности электроснабжения [12]. Указана структура управления ремонтно-механического цеха с указанием его основных подразделений.

Целью дипломного проектирования является разработать проект системы электроснабжения для машиностроительного предприятия.

Основными задачами дипломного проектирования являются:

- Расчет электрических нагрузок машиностроительного предприятия;
- Выбор силовых трансформаторов и компенсирующих устройств цехов машиностроительного предприятия;
- Расчет распределительной сети предприятия и выбор кабельных линий 0,4 и 10 кВ;
- Расчет токов КЗ и выбор коммутационной и защитной аппаратуры;
- Выбор схемы и оборудования распределительного устройства ГПП
- Выбор силовых трансформаторов и компенсирующих устройств ГПП машиностроительного предприятия;
- Расчет и выбор защиты силовых трансформаторов ГПП;
- Разработка вопросов по охране труда и энергосбережению на машиностроительном предприятии
- Расчёт молниезащиты и заземления ГПП.

## 2 Расчет электрических нагрузок и выбор электрооборудования для системы электроснабжения завода

### 2.1 Расчет электрических нагрузок машиностроительного предприятия, выбор числа, мощности трансформаторных подстанций установок с учетом компенсации реактивной мощности

Более подробно рассмотрим электроснабжение воздушной компрессорной. Технические данные электроприемников центральной воздушной компрессорной (ЦВК) сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Технические данные электроприемников воздушной компрессорной установки

Наименование электроприемника	Тип	Обозначение на плане	Номинальная мощность $P_n$ , кВт	Напряжение, $U$ , В	$I_p/I_n$	Время пуска $t_{пр}$ , с	$\cos \varphi$	КПД, $\eta$	$K_u$
<b>Высоковольтное оборудование</b>									
Электродвигатель центробежного компрессора	СТД-1600-2	1м,2м, 3м,4м	1600	10000	6,7	9,5	0,9	96,3	0,85
<b>Низковольтное оборудование</b>									
Шкаф тиристорного возбудительного устройства (в комплекте с трансформатором ТСЗВ-63/0,5 74 кВА)	ТЕ8-320/75Т-5У4	1ТВУ 2ТВУ 3ТВУ 4ТВУ	25,8	380		0,75	0,8	92,0	0,7
Щит управления		1ЩУ (Панель1)	10	380	-	-	0,87	90,0	0,76
Щит управления		2ЩУ (Панель2)	10	380	-	-	0,87	90,0	0,76
Электродвигатель вентустановки	АО2-51-8У3	7,8,9,10	4	380	7,0	0,19	0,85	90,0	0,7
Электродвигатель маслонасоса	АО2-51-8У3	17,18,19,20	14,0	380	7,0	0,37	0,9	88,0	0,7
Фильтр всаса	АОЛ2-11-4У3	4м/7, 3м/7 2м/7, 1м/7	1,1	380	6,5	0,15	0,9	88,5	0,8
Электродвигатель задвижки на сливном водопроводе	АОЛ2-11-4У3	4м/2, 3м/2, 2м/2, 1м/2	0,6	380	7,0	0,17	0,9	87,5	0,7

Продолжение таблицы 3

Электродвигатель задвижки водяного охлаждения	АОЛ2-11-4	4м/1, 3м/1, 2м/1, 1м/1	0,6	380	7	0,17	0,9	87,5	0,7
Электродвигатель дроссельной заслонки	АОЛ2-11-4	4м/5, 3м/5, 2м/5, 1м/5	0,4	380	7	0,17	0,9	87,0	0,7
Электродвигатель компактного клапан	АОЛ2-11-4	4м/4, 3м/4, 2м/4, 1м/4	0,4	380	7,5	0,17	0,90	87,0	0,7
Электродвигатель задвижки нагнетания	АОЛ2-11-4 УЗ	4м/6, 3м/6, 2м/6, 1м/6	0,6	380	7,5	0,17	0,9	87,5	0,7
Шкаф управления компрессором		1ШУ 2ШУ 3ШУ 4ШУ	22	380	-	-	0,85	90,0	0,7
Комплектно выпрямительное устройство		1КВУ 2КВУ	66,0	380	-	-	0,85	90,0	0,8
Пусковой маслонасос	АОЛ2-31-2 УЗ	4м/3, 3м/3, 2м/3, 1м/3	3	380	6,0	0,15	0,85	86,0	0,65
Двигатель приточной установки (П-1)	АОЛ2-22-4 УЗ	13,14	1,5	380	6,0	0,19	0,85	95,0	0,65
Отопительный агрегат	АОЛ2-21-4 УЗ	22	1,1	380	6,5	0,15	0,9	88,5	0,8
Отопительный агрегат (О-1)	АОЛ-2-12-2У3 АОЛ-2-12-2У3	11,16	1,1	380	6,5	0,15	0,9	88,5	0,8
Электродвигатель вентустановки	АОЛ2-21-5У3 АОЛ2-12-4У3	12,21	0,6	380	7,0	0,15	0,9	74,5	0,7
Электродвигатель вентустановки	АОЛ2-11-4 УЗ	15	0,6	380	7,0	0,17	0,9	87,5	0,7
Шкаф управления насосами	ШУН 5106-03-В2Ж	ШУН	1,7	380	-	-	0,9	88,5	0,8
Электроподогреватель		18	25	380	7,0	0,37	0,9	88,0	0,7
Электродвигатель сепаратора	АОЛ2-32-4	17	3,0	380	6,0	0,15	0,85	83,5	0,65
Щит контрольно измерительных приборов и автоматики		КиПиА	3,0	380			0,85	90,0	0,65
Щит рабочего освещения		ЩОР	8,2	380			0,85	1,0	0,85
Щит аварийного освещения		ЩОА	2,3	380			0,85	1,0	0,85
Щит внешней сигнализации		ШЗ	3,2	380			0,85	90,0	0,7
Шкаф распределительный силовой		1ШРС 2ШРС 3ШРС 4ШРС	22,7	380			0,9	90,0	0,7

В нашем случае все электроприемники воздушной компрессорной установки относятся к группе Б с относительно постоянным графиком электрической нагрузки и коэффициентом использования равен  $K_{II} \geq 0,6$ .

Все используемые формулы раздела 2.1 взяты согласно с [21].

Суммарная номинальная (установленная) мощность  $j$ -ой подгруппы, состоящей из  $n$  электроприемников, определяется по формуле:

$$P_{НОМ.j} = \sum_1^n P_{НОМ.i}, \quad (1)$$

где  $P_{НОМ.i}$  – номинальная мощность электроприемника, входящего в подгруппу, кВт.

Величина общей номинальной мощности  $P_{НОМ.j}$  включает в себя только мощности рабочих механизмов (без учета резерва) при их продолжительности включения ПВ=100%.

Для каждого участка электросети определим отношение  $m$  по выражению:

$$m = \frac{P_{НОМ.MAX}}{P_{НОМ.MIN}}, \quad (2)$$

где  $P_{НОМ.MIN}$  и  $P_{НОМ.MAX}$  – минимальная и соответственно максимальная мощности, кВт.

Средние нагрузки  $j$ -той подгруппы за максимально загруженную смену находим по выражению:

$$P_{ср.маx.j} = K_u \cdot P_{НОМ.j}, \quad (3)$$

$$Q_{ср.маx.j} = P_{ср.маx.j} \cdot tg\varphi, \quad (4)$$

Находим сумму  $\sum P_{ср.маx.j}$  активной мощности группы и сумму  $\sum Q_{ср.маx.j}$  реактивной мощности группы. Используя полученные значения  $\sum P_{ср.маx.j}$  и  $\sum Q_{ср.маx.j}$ , определяем средневзвешенные для группы электроприемников значения:

$$K_u = \frac{\sum P_{cp.max.j}}{\sum P_{ю.м}}, \quad (5)$$

$$tg \varphi = \frac{\sum Q_{cp.max.j}}{\sum P_{cp.max.o}}. \quad (6)$$

По произведенным расчетам по методике, изложенной в [2], рассчитываем  $n_{\text{Э}}$  – эффективное число электроприемников.

По  $K_{II}$ , полученному по (5) и  $n_{\text{Э}}$  по методике, изложенной в [2], определяем  $K_{\text{max}}$  – коэффициент максимума.

Для электроприемников длительного режима работы с практически постоянным графиком нагрузки, у которых коэффициент использования  $K_{II} \geq 0,6$  (электроприемники группы Б), величина коэффициента максимума  $K_{\text{max}}$  принимается равной единице:

$$K_{\text{max}} = 1,0.$$

В нашем случае определение эффективного числа электроприемников  $n_{\text{Э}}$  не требуется.

С помощью коэффициента максимума  $K_{\text{max}}$  определяем расчетные максимумы нагрузок:

Активной: 
$$P_{\text{max}} = K_{\text{max}} \cdot P_{cp.max}, \quad (7)$$

Реактивной: 
$$Q_{\text{max}} = K'_{\text{max}} \cdot Q_{cp.max}, \quad (8)$$

Полной: 
$$S_{\text{max}} = \sqrt{P_{\text{max}}^2 + Q_{\text{max}}^2}, \quad (9)$$

и тока: 
$$I_{\text{max}} = \frac{S_{\text{max}}}{\sqrt{3} \cdot U_{ю.м}}, \quad (10)$$

Осветительная нагрузка воздушной компрессорной установки определяется по методу удельной мощности [21] по формуле:

$$P_{ю.м.o} = \omega \cdot S, \quad (11)$$

где  $\omega$  - значение удельной мощности освещения, Вт/м<sup>2</sup>; определяется по таблицам 5.21 – 5.49 [23] для нормы освещенности  $E_n = 100$  лк;  $S$  – освещаемая площадь цеха, м<sup>2</sup>.



При норме освещенности  $E_n=100$  лк удельную мощность освещения определяем по формуле [8]:

$$\omega = \frac{\omega' \cdot E_n}{100}, \quad (12)$$

где  $\omega'$  – табличное значение удельной мощности освещения при норме освещенности  $E_n = 100$  лк.

Результаты расчетов сводим в таблицу 5.

Отдельно рассчитаем нагрузку 1ШРС. Такая же нагрузка у шкафов 2ШРС, 3ШРС, 4ШРС. Результаты занесем в таблицу 5а.

Расчетные мощности синхронных двигателей 10 кВ определяю через коэффициент спроса  $K_c$ .

Таблица 4 – Расчёт электрических нагрузок электрического оборудования напряжением 10 кВ

№ п/п	Наименование оборудования	$P_{уст}$	$K_c$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_{расч}$	$Q_{расч}$
РП2	Печь для закалки типа СДО-52-85-120, мощностью 1200 кВт, 2 печи	2600	0,85	0,95	0,33	2210	729,3
РП1	Синхронный двигатель STD-1600-23УХЛЧ, мощностью 1600 кВт, 4 эл.двигателя	6400	0,75	0,85	0,62	4800	2976

Таблица 5 – Расчёт электрических нагрузок компрессорной станции

№ п/п	Наименование узлов питания и групп электроприемников	Число электроприемников, $n$	Номинальная мощность, кВт		$m = P_{ном. max} / P_{ном. min}$	Коэффициент использования, $K_u$	$\cos\varphi/\tan\varphi$	Средняя нагрузка за максимально нагруженную смену		Эффективное число электроприемников, $n_{\Sigma}$	Коэффициент максимума, $K$	Максимальная нагрузка			Расчетный ток, $I_{max}$ , А
			одного электроприемника наиб./наим. $P_n$	общая, $P_n$				активная, $P_{ср}$ , кВт	реактивная, $Q_{ср}$ , ВАр			активная, $P_{max}$ , Вт	реактивная, $Q_{max}$ , кВАр	полная, $S_{max}$ , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Шкаф тиристорного возбудительного устройства	4	25,8	103,2		0,7	0,8/0,75	72,24	54,180						
2	Щит управления	2	10	20		0,76	0,87/0,56	15,2	8,512						
3	Электродвигатель вентустановки	4	4	16		0,7	0,85/0,62								
	Шкаф управления компрессором	4	22	88		0,7	0,85/0,62								
	Щит внешней сигнализации	1	6,9	6,9		0,7	0,85/0,62								
Итого по группе 3		9		110,9				77,63	16,709						
4	Электродвигатель задвижки на сливном водопроводе	4	0,6	2,4		0,7	0,9/0,48								
	Электродвигатель задвижки водяного охлаждения	4	0,6	2,4		0,7	0,9/0,48								
	Электродвигатель дроссельной заслонки	4	0,4	1,6		0,7	0,9/0,48								
	Электродвигатель компактного клапана	4	0,4	1,6		0,7	0,9/0,48								

Продолжение таблицы 5

	Электродвигатель задвигки нагнетания	4	0,6	2,4		0,7	0,9/0,48								
	Электродвигатель вентустановки	1	0,6	0,6		0,7	0,9/0,48								
	Электродвига-тель вентустановки	2	0,6	1,2		0,7	0,9/0,48								
	Электродвигатель маслонасоса	2	14	28		0,7	0,9/0,48								
	Электроподогре-ватель	1	25	25		0,7	0,9/0,48								
Итого по группе 4		26		65,2				45,64	21,907	5,216					
5	КВУ	2	66	132		0,8	0,85/0,62	105,6	65,472						
6	Пусковой маслонасос	4	3	12		0,65	0,85/0,62								
	Электродвигатель сепаратора	1	3	3		0,65	0,85/0,62								
	Щит КиПиА	1	3	3		0,65	0,85/0,62								
	Двигатель приточной установки	2	1,5	3		0,65	0,85/0,62								
Итого по группе 6		8		21				13,65	8,463						
7	Отопительный агрегат	3	1,1	3,3		0,8	0,9/0,48								
	Шкаф управления насосами	1	1,7	1,7		0,8	0,9/0,48								
	Фильтр всаса	4	1,1	4,4		0,8	0,9/0,48								
Итого по группе 7		8		9,4				7,52	3,610						
Итого по группе Б								286,8	178,853		1	286,80	178,853	337,994	514,137
	Освещение			8,2		0,85	1,0/-					7,38		7,38	8,625
того по установке								295,733	186,892			295,733	186,892	345,374	538.381

Таблица 5 а–Расчёт электрических нагрузок 1ШРС компрессорной станции

№ п/п	Наименование узлов питания и групп электроприемников	Число электроприемников, $n$	Номинальная мощность, кВт		$m = P_{\text{ном. max}} / P_{\text{ном. min}}$	Коэффициент использования, $K_u$	$\cos\varphi/tg\varphi$	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число электроприемников, $n_{\Sigma}$	Коэффициент максимума, $K_{\text{max}}$	Максимальная нагрузка			Расчетный ток, $I_{\text{max}}$ А
			одного электроприемника наиб./наим. $P_n$	общая, $P_H$				активная, $P_{\text{см}}$ , кВт	реактивная, $Q_{\text{см}}$ , ВАр			активная, $P_{\text{max}}$ , Вт	реактивная, $Q_{\text{max}}$ , кВАр	полная, $S_{\text{max}}$ , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Группа Б															
1	Электродвигатель маслонасоса	1	14,0	14,0		0,7	0,90/0,48	9,800	4,7040						
2	Щит управления центробежным компрессором	1	3,9	3,9		0,7	0,85/0,62	2,730	1,6926						
3	Электродвигатель задвижки нагнетания	1	2,2	2,2		0,7	0,90/0,48	1,540	0,7392						
4	Электродвигатель задвижки компрессора	3	0,6	1,8		0,7	0,90/0,48	1,260	0,6048						
5	Электродвигатель дроссельной заслонки, байпасного клапана	2	0,4	0,8		0,7	0,90/0,48	0,560	0,2688						
Итого по группе Б		8		22,7		0,7	0,89/0,50	15,890	8,0094		1,0	15,890	8,0094	17,7945	27,0359
ИТОГО по 1 ШРС		8		22,7		0,7	0,89/0,50	15,890	8,0094		1,0	15,890	8,0094	17,7945	27,0359

Нагрузки остальных цехов рассчитываем методом коэффициент спроса  $K_c$

Расчетные мощности определяются по коэффициенту спроса по формулам [6]:

$$P_p = K_c \cdot P_{уст}, \text{ кВт} \quad (12)$$

$$Q_p = tg\varphi \cdot P_p, \text{ кВАр} \quad (13)$$

Расчет нагрузок цеха № 1.

$$P_{ср.макс} = 0,2 \cdot 3147,2 = 629,44 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{ср.макс} = 629,44 \cdot 1,33 = 837,115 \text{ (квар)}$$

$$P_p = 0,23 \cdot 3147,2 = 723,856 \text{ (кВт)}$$

$$Q_p = 1,33 \cdot 723,856 = 962,728 \text{ (квар)}$$

Определяем расчетные мощности для остальных цехов так же.

Сводим результаты расчетов по остальным цехам в таблицу 6.

Таблица 6 – Расчетные мощности для остальных цехов предприятия

№ п/п	Наименование цеха	$P_{уст}$	$K_c$	$K_u$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_{ср.макс}$	$Q_{ср.макс}$	$P_{расч}$	$Q_{расч}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Механический	3147,2	0,23	0,2	0,6	1,33	629,44	837,155	723,856	962,728
2	Механический	4988,5	0,23	0,2	0,6	1,33	997,7	1326,941	1147,355	1529,982
4	Механосборочный	11007,4	0,365	0,3	0,65	1,17	3302,22	3863,597	4017,701	4700,71
5	Механосборочный	10738	0,365	0,3	0,65	1,17	3221,4	3769,038	3919,37	4585,66
6	Механосборочный	7715,5	0,365	0,3	0,76	0,86	2314,65	1990,599	2816,158	2421,895
7	Механосборочный (сварочный)	12623	0,4	0,35	0,76	0,86	4418,05	3799,523	5049,2	4342,312
8	Литейный	8691	0,5	0,35	0,75	0,88	3041,85	2676,828	4345,5	3824,04
9	Кузнечно-прессовый	5840,5	0,4	0,35	0,65	1,17	2044,175	2391,685	2336,2	2733,354

Продолжение таблицы 6

№ п/п	Наименование цеха	$P_{уст}$	$K_c$	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_{ср.макс}$	$Q_{ср.макс}$	$P_{расч}$	$Q_{расч}$
10	Термический	890	0,8	0,7	0,95	0,33	623	205,59	712	234,96
11	Гальванический	1408,7	0,8	0,7	0,95	0,33	985,95	325,364	1126,8	371,844
12	Ремонтно-механический	1574	0,3	0,2	0,65	1,17	314,8	368,316	472,2	552,474
13	Модельный	1555	0,3	0,2	0,6	1,33	311	413,63	466,5	620,445
14 б	Котельная	295,7	0,7	0,65	0,8	0,75	295,7	186,8	206	155,2
15	Инструментальный	2963,5	0,23	0,2	0,6	1,33	592,7	788,291	681,605	906,535
16	Ремонтный по эл.оборудованию	1750,9	0,3	0,2	0,6	1,33	350,18	465,739	525,27	698,609
17	Транспортный	529	0,7	0,65	0,7	1,02	343,18	350,727	370,3	377,706

По удельной плотности нагрузки  $\sigma_H$  выполняем выбор мощности и числа трансформаторов в цехах [27]:

$$\sigma_H = Sp / F \quad (15)$$

где  $Sp$  – расчетная нагрузка приемника электроэнергии, кВА;

$$S_p = S_{ср.макс} = \sqrt{P_{ср.макс}^2 + Q_{ср.макс}^2} \quad (16)$$

$F$  – площадь установки, м<sup>2</sup>.

Определим величину площади для проектируемой воздушной компрессорной установки:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4, \quad (17)$$

где  $F_1 = a_1 \cdot b_1$  – площадь помещения машинного зала компрессорной, первый этаж, м<sup>2</sup>;

$F_2 = a_2 \cdot b_2$  – площадь помещения машинного зала компрессорной установки, второй этаж, м<sup>2</sup>;

$F_3 = a_3 \cdot b_3$  – площадь помещений комплектной трансформаторной подстанции, распределительного устройства 10 кВ, операторной и маслохозяства, м<sup>2</sup>;

$F_4 = a_4 \cdot b_4$  – площадь зоны обслуживания теплообменников, м<sup>2</sup>.

Тогда для расчета компрессорной станции имеем:

$$S_p = S_{cp.max} = \sqrt{295,733^2 + 186,892^2} = 349,838 \text{ кВА};$$

$$F = 42 \cdot 24 + 42 \cdot 24 + 6 \cdot 6 = 2052 \text{ м}^2;$$

$$\sigma_H = \frac{349,838}{2052} = 0,170 \text{ кВА/м}^2.$$

При плотности нагрузки до 0,2кВА/м<sup>2</sup> рекомендуется использовать мощность силовых трансформаторов до 1000кВА [27].

Найдем оптимальное количество трансформаторов для ЦВК  $N_{opt}$ . Минимальное количество силовых трансформаторов  $N_{min}$  установки с мощностью  $S_{ном.т}$  найдем по выражению [27]:

$$N_{min} = \frac{812,503}{0,5 \cdot 1000} + 0,187 = 2,0; \quad (18)$$

где  $P_{cp.max}$  – средняя максимальная активная мощность;  $K_3$  – коэффициент загрузки силового трансформатора; согласно [4] для компрессорной установки принимается  $K_3 = 0,5$ ;  $\Delta N$  – добавка до целого ближайшего числа.

Далее найдем экономически оптимальное количество силовых трансформаторов  $N_{opt}$  [27]:

$$N_{opt} = N_{min} + m, \quad (19)$$

где  $m$  – дополнительно установленные силовые трансформаторы; находится по рисунку 4.6 [27].

В нашем случае, подставляя в (9) величины, полученные по (4) и (5) рассчитаем оптимальное число трансформаторов:

$$N_{opt} = \frac{812,503}{0,5 \cdot 1000} + 0,187 = 2,0;$$

По величине средней нагрузки  $S_{cp.m}$  рассчитаем мощность трансформаторов  $S_{ном.т}$  [27]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{P_{cp.max}}{K_3 \cdot N_{онт}}, \text{ кВА} \quad (20)$$

Для компрессорной станции:

$$S_{ном.т} \geq \frac{295,733}{0,5 \cdot 2} = 295,733,$$

Принимаем к установке двухтрансформаторную подстанцию типа 2КТПВЦ-10/0,4- 400/М УХЛ1 с трансформаторами типа ТМФ-400/10 У1.

Произведем расчет наибольшей реактивной мощности, которую возможно передать через силовые трансформаторы компрессорной по выражению [27]:

$$Q_{max.m} = \sqrt{(N_{онт} \cdot K_3 \cdot S_{ном.т})^2 - P_{cp.max}^2}, \quad (21)$$

$$Q_{max.m} = \sqrt{(2 \cdot 0,5 \cdot 400)^2 - 295,733^2} = 269,336 \text{квар}$$

Найдем суммарную мощность конденсаторных установок [27]:

$$Q_{НК1} = Q_{cp.max} - Q_{max.m}, \quad (22)$$

где  $Q_{cp.max}$  - общая средняя реактивная мощность в максимально загруженную смену.

Суммарная расчетная мощность  $Q_{НК}$  НБК составит [27]:

$$Q_{НК} = Q_{НК1} + Q_{НК2}, \quad (23)$$

Рассчитаем полную мощность компрессорной по выражению:

$$S_{cp.max} = \sqrt{P_{cp.max}^2 + (Q_{cp.max} + Q_{НК})^2}. \quad (24)$$

Аналогично выбираем подстанции остальных цехов.

Результаты расчетов сведем в таблицу 7.



Таблица 7 – Определение суммарных расчетных мощностей низковольтных конденсаторных батарей

№ п/п цеха	Sномтр (кВА)	Kз требуемый	Nопт	Q <sub>макс.тр</sub> (кВАР)	Q <sub>нкр</sub> (кВАР)
1	400	0,798	2	115,781	721,334
2	630	0,798	2	143,731	1183,21
4	1600	0,796	3	1959,832	1943,597
5	1600	0,77	3	2090,02	1849,2
6	1600	0,7996	2	1093,616	896,983
7	1000	0,75	6	1876,389	1923,134
8	1000	0,797	4	993,554	1683,274
9	1600	0,797	2	1541,087	850,598
10	400	0,796	2	146,53	59,07
11	630	0,795	2	209,682	115,682
12	400	0,795	1	57,454	310,862
13	400	0,78	1	75,36	338,27
146	1000	0,699	2	321,775	1491,707
15	400	0,778	2	241,468	546,823
16	400	0,88	1	83,51	382,23
17	400	0,867	1	106,617	244,11

Выберем низковольтные КУ. Результаты выбора будут сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Выбор КУ 0,4 кВ

№ п/п цеха	Количество и тип конденсаторных установок	Суммарная мощность, квар
<b>1</b>	УКЛН-0,38-432-108У3 УКПН-0,38-300-150У3	732
<b>2</b>	2 шт УКЛН-0,38-600-108У3	1200
<b>4</b>	3 шт УКЛН-0,38-324-108У3 3 шт УКПН-0,38-324-108У3	1944
<b>5</b>	3 шт УКЛН-0,38-324-108У3 3 шт УКПН-0,38-324-108У3	1944
<b>6</b>	2 шт УКЛ(П)Н-0,38-450-150У3	900
<b>7</b>	3 шт УКЛН-0,38-324-108У3 3 шт УКПН-0,38-324-108У3	1944
<b>8</b>	4 шт УКЛ(П)Н-0,38-432-108У3	1728
<b>9</b>	2 шт УКЛ(П)Н-0,38-432-108У3	864
<b>10</b>	УКН-0,38-75У3	75
<b>11</b>	УК-0,38-150У3	150
<b>12</b>	УКЛН-0,38-324-108У3	324
<b>13</b>	УКЛН-0,38-300-150У3 УКПН-0,38-75У3	375
<b>146</b>	2 шт УКЛН-0,38-600-150У3 2 шт УКН-0,38-150У3	1500

Продолжение таблицы 8

<b>15</b>	УКЛН-0,38-600-150УЗ	600
<b>16</b>	УКЛН-0,38-432-108УЗ	432
<b>17</b>	УКЛН-0,38-300-150УЗ	300

Производим расчет мощности на высокой стороне цеховых трансформаторных подстанций с учетом потерь в трансформаторах.

Результаты расчетов заносим в таблицу 9.

Таблица 9 – Расчет мощностей на стороне 10 кВ и выбор цеховых трансформаторов

№ цеха	№ ТП	Ср. макс кВА	Кол-во и Стр кВА	K3	$\Delta P_T$ кВт	$\Delta Q_T$ квар	$Q_{ку}$ квар	$P_p$ ; кВт	$Q_p$ кВАР	$S_p$ кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	638,163	2×400	0,798	4,962	19,862	732	639,364	144,879	655,573
2	2	1005,743	2×630	0,798	7,683	34,665	1200	1013,066	1962,271	1031,904
4	4	3819,622	2×1600	0,796	15,905	97,358	1296	2233,29	1474,447	2676,113
	5		1×1600		15,905	97,358	648	1116,645	737,224	1338,057
5	6	3702,456	1×1600	0,77	15,172	93,775	648	1088,972	702,121	1295,898
	7		2×1600		15,172	93,775	1296	2177,944	1404,242	2591,396
6	8	2558,713	2×1600	0,799	16,008	97,864	900	2346,666	1286,327	2676,094
7	9	4500,121	2×-	0,75	10,163	58,938	648	1493,01	736,384	1664,734
	10		1000		10,163	58,938	648	1493,01	736,384	1664,734
	11		2×-		10,163	58,938	648	1493,01	736,384	1664,734
8	12	3186,397	2×1000	0,797	11,05	62,936	864	1543,025	600,286	1655,678
	13		2×1000		11,05	62,936	864	1543,025	600,286	1655,678
9	14	2551,955	2×1600	0,797	15,934	97,498	864	2076,043	1722,681	2697,7
10	15	636,54	2×400	0,796	4,945	19,805	75	632,89	170,2	655,376
11	16	1001,424	2×630	0,795	7,642	34,5	150	1001,234	244,364	1030,623
12	17	317,904	1×400	0,795	4,936	19,776	324	319,736	64,092	326,096
13	18	313,39	1×400	0,78	4,806	19,351	375	315,806	57,981	321,084
146	20	1398,117	2×1000	0,699	9,261	54,873	1500	1381,042	423,228	1444,437
15	21	621,89	2×400	0,778	4,789	19,295	600	602,278	226,881	643,594
16	22	351,802	1×400	0,88	5,789	22,339	432	355,899	56,079	360,29
17	23	347,572	1×400	0,867	5,594	21,93	300	349,444	72,657	356,918
ИТОГО ПО ЗАВОДУ С КОМПРЕССОРНОЙ								34031,455	33350,826	53562,918

## **2.2 Расчет распределительной сети предприятия**

### **2.2.1 Выбор и расчет распределительной сети**

Сети 0,4 кВ в цехах выполняем по магистральной схеме. В целом по заводу смешанную с учетом категоричности цехов.

В компрессорной применяем радиальную схему электроснабжения, так как электропотребители относятся к I категории электроснабжения и по условиям среды (зона взрывоопасности В-Ia), согласно п. 7.3.119 [4]. Прокладка шинопроводов разрешена лишь при соблюдении ряда условий. Трансформаторная подстанция сооружается с распределительным устройством на 10 кВ.

Произведем расчет распределительной сети компрессорной подробно.

Для РУ на 0,4 кВ выбираем продукцию фирмы ОАО «ПО Элтехника» и принимаем к установке НКУ ЩО-2000-У31 «НЕВА». Обслуживание одностороннее. Располагается в металлических корпусах с воздушной изоляцией. Комплектуется автоматическими выключателями, выключателями-разъединителями [31]. Также предусмотрены устройства управления и сигнализации и трансформаторы тока. Подвод кабеля и шин может осуществляться в верхней или нижней части щита, шины устанавливаются из высококачественной твердой меди. Система сборных шин позволяет формировать магистрали на токи до 6300А защитных ограждений сверху и сзади не имеет.

Структурная схема панели НКУ ЩО-2000-У31 «НЕВА» представлена на рисунок 3.

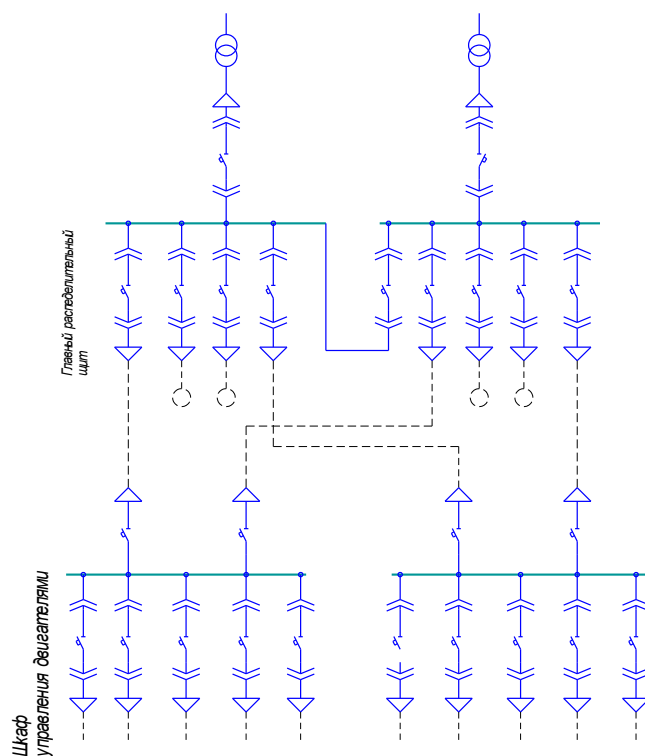


Рисунок 3 – Структурная схема панели НКУ

От РЩ ТП отходят питающие линии к ГЩ, от которых идут вторичные линии к РЩ, а от них - к отдельным электроприемникам.

Сеть выполняем кабельными линиями, проложенными в пределах компрессорной (машинный зал №1) – открыто по стене на полках (лотках) в стальной водогазопроводной трубе; в распределительном устройстве на 10 кВ, распределительном устройстве на 0,4 кВ – в каналах на конструкциях; в помещении оператора – открыто по стене на полках (лотках), в помещении маслохозяйства – в стальных трубах под заделку пола; в зоне обслуживания теплообменников – в траншее.

Ответвления к электроприемникам, щитам и шкафам согласно [29] выполняем кабелем ВВГнг-LS и защищаем автоматическими выключателями ВА51-35, которые устанавливаем в начале линии.

Сечение жил кабелей и проводов напряжением до 1000 В при нормальных условиях прокладки выбирается по следующим условиям [6]:

- 1) по условию нагрева длительно допустимым расчетным током:

$$I_{\text{ном.доп}} \geq I_{\text{дл.р.}} / K_{\text{прокл}}, \quad (25)$$

где  $I_{ном.доп.}$  – допустимый ток кабеля в нормальном режиме;  $I_{дл.р.}$  – длительно допустимый расчетный ток линии; находим по [17];  $K_{прокл.}$  – поправочный коэффициент на условие прокладки провода или кабеля; величина коэффициента  $K_{прокл.}$  определяется согласно [17].

2) по условию селективности:

$$I_{ном.доп.} \geq (I_{защ.} \cdot K_{защ.}) / K_{прокл.}, \quad (26)$$

где  $I_{защ.} = I_{ном.вст.}$ , если линия защищается предохранителями;  $I_{защ.} = I_{сраб.}$ , если линия защищается АВ;  $K_{защ.}$  – кратность длительно допустимого тока для кабеля или провода по отношению к току срабатывания защитного аппарата.

Для нормальных помещений длительно допустимый ток кабеля  $I_{дл.р.}$  приравнивается к номинальному току двигателя:

$$I_{ном.дв.} = I_{дл.р.}; \quad (27)$$

Если помещение взрывоопасные:

$$1,25 \cdot I_{ном.дв.} = I_{дл.р.} \quad (28)$$

Так как использование максимума нагрузки для цеховых распределительных сетей менее 4000 – 5000 часов, по [4], то отпадает надобность их проверки по экономической плотности тока.

Произведем выбор сечения кабеля, проложенного в канале на конструкциях в помещении распределительного устройства 10 кВ, и на лотках в машинном зале компрессорной, питающего шкаф распределительный силовой 4ШРС.

Расчетный ток 4ШРС по табл. 5а составляет:

$$I_p = 27 \text{ А}$$

По экономической плотности тока сечение кабеля:

$$S_{ЭК} = \frac{I_{РАСЧ}}{j_{ЭК}} = \frac{27}{2} = 13,5 \text{ мм}^2,$$

По каталогу производителя кабеля выбираем кабель марки ВВГнг-LS-5x16 с допустимым током  $I_0=87\text{А}$ .

С учетом температуры и условия прокладки кабеля:

$$I'_{PAC} = \frac{I_{PAC}}{K_1} = \frac{27}{0,95} = 28,4 A.$$

Проверяем кабель по потере напряжения по выражению:

$$\Delta U = \frac{I_p \cdot l(z_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi)}{U_n}$$

Удельная проводимость проводниковой меди 57м/(Ом·мм<sup>2</sup>)

$$\Delta U_{рас} = \frac{\sqrt{3} \cdot 27 \cdot 0,06 \cdot 100}{380} \cdot \left( \frac{1000}{57 \cdot 16} \cdot 0,7 + 0,07 \cdot 0,71 \right) = 1,41 \% < \Delta U_{доп}$$

Так как потери напряжения в линии составляют менее 5%, то кабель выбран верно.

Выбираем кабель марки ВВГнг-LS-5x16 с допустимым током  $I_{\delta}=87$  А

Проверке по экономической плотности тока не подлежат ответвления к отдельным электроприемникам напряжением до 1 кВ, а также осветительные сети промышленных предприятий [ПУЭ, п.1.3.28].

Произведем выбор сечения кабеля к отдельному электроприемнику (маслонасосу). Сечение кабеля типа ВВГнг-LS для ответвления к одиночному двигателю выполняем по условию нагрева длительным расчетным током.

Величину номинального тока электродвигателя определяем по формуле:

$$I_{ном} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot \eta \cdot U_H}, \quad (29)$$

где  $I_{ном}$  – номинальный ток электродвигателя, А;  $P_H$  – номинальная мощность маслонасоса, 14 кВт, кВт;  $\cos \varphi=0,87$  – коэффициент мощности двигателя;  $\eta=89\%$  – коэффициент полезного действия двигателя маслонасоса;  $U_H$  – номинальное напряжение двигателя маслонасоса, 0,38 кВ.

Определим номинальный ток двигателя маслонасоса:

$$I_{ном.ДВ} = \frac{P_{H_1}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{14}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,87 \cdot 0,89} = 29 A.$$

Выбираем кабель марки ВВГнг-LS-5x4 с допустимым током  $I_{\partial}=37\text{А}$ .

Результаты расчета и выбора заносим в таблицу 10.

Выполним расчет отклонения напряжения на зажимах наиболее удаленного от цехового трансформатора приемника электроэнергии.

Необходимо соблюдать следующее условия:

$$\Delta U_{\text{общ}} \% \leq \Delta U_{\text{дон}} \% , \quad (30)$$

где  $\Delta U_{\text{дон}}$  – разрешенное отклонение напряжения от номинального.

Суммарная величина отклонения напряжения от цехового трансформатора до вентилятора мощностью 3 кВт:

$$\Delta U_{\text{общ}} \% = \Delta U_c \% + \Delta U_m \% . \quad (31)$$

Потеря напряжения на участках от источника до приемника электроэнергии:

$$\Delta U \% = \sqrt{3} \sum_{i=1}^n \frac{I_{\text{max}i} \cdot l_i}{U_i} (r_o \cdot \cos \varphi_i + x_o \cdot \sin \varphi_i) 100, \quad (32)$$

где  $I_{\text{max}i}$  – номинальный ток приемника электроэнергии;  $n$  – число запитанных приемников электроэнергии;  $l_i$  – длина участка электрической сети до приемника электроэнергии;  $\cos \varphi_i$  – коэффициент мощности приемника электроэнергии;  $r_{oi}$ ,  $x_{oi}$  – удельные реактивное и активное сопротивления участков электрической сети;  $U_i$  – фактическая величина напряжения в точке подключения  $i$ -той нагрузки [32].

Результаты расчета и выбора заносим в таблицу 10.

### **2.2.2 Выбор и расчет защитных устройств на стороне низкого напряжения**

Защиту сетей 0,4 кВ от короткого замыкания и перегрузки обеспечиваем автоматическими выключателями с комбинированными расцепителями.

Произведем выбор автоматических выключателей для электропотребителей компрессорной станции. Выбираем аппараты защиты ВА51-35.

Выбираем выключатели согласно следующим условиям:

Номинальное напряжение АВ должно быть:

$$U_{ном} \geq U_{ном.уст.}, \quad (33)$$

где  $U_{ном.уст.}$  – номинальное напряжение уставки.

Номинальный ток АВ должен быть больше номинального тока защищаемого элемента:

$$I_{ном.а} \geq I_{ном}. \quad (34)$$

Номинальный ток расцепителя:

$$I_{ном.} \geq I_{р.ф.} \geq I_{р.мах}, \quad (35)$$

где  $I_{р.мах}$  – рабочий максимальный ток;

$I_{р.ф.}$  – ток послеаварийного режима.

Определяем ток расцепителя по формуле:

$$I_{сраб.} \geq 1,25I_{пик}, \quad (36)$$

где  $I_{пик}$  – пиковый ток при пуске двигателя.

После выбора тока расцепителя необходимо проверить автоматический выключатель на срабатывание при однофазном коротком замыкании:

- для автомата с обратно зависимой характеристикой и для сетей не взрыво- и не пожароопасных помещений выражение имеет вид:

$$I_{к}^{(1)} \geq 3I_{сраб.}; \quad (37)$$

- в случае, если выключатель имеет только электромагнитный расцепитель, то проверка выполняется по условию:

$$I_{к}^{(1)} \geq 1,1I_{сраб.} \quad (38)$$

Отключающая способность выключателя:

$$I_{к}^{(3)} < I_{откл.}^{(3)}, \quad (39)$$

где  $I_{откл.}^{(3)}$  – предельный ток отключения;



$I_k^{(3)}$  – ток трехфазного короткого замыкания.

Проверка на динамическую устойчивость автомата производится по выражению:

$$i_{дин} > i_y^{(3)}, \quad (40)$$

где  $i_{дин}$  – ток электродинамической стойкости;  $i_y^{(3)}$  – ударный ток при трехфазном коротком замыкании (К.З.).

Проверка автоматических выключателей по условиям 39 и 40 производится после расчета токов короткого замыкания.

Уставки автоматических выключателей должны быть согласованы с сечениями защищаемых линий по следующим условиям кратности:

- для автомата с электромагнитным расцепителем:

$$I_{у.э.р.} = 8 \cdot I_{дл.доп.} \quad (41)$$

- для автомата с тепловым или комбинированным расцепителем:

$$I_{у.т.р.} = 1,25 \cdot I_{дл.доп.} \quad (42)$$

Произведем выбор защитного аппарата для защиты кабеля типа ВВГнг-LS-5х6, питающего электродвигатель маслососа мощностью 14 кВт.

Для кабеля, питающего маслосос, выбираем автоматический выключатель ВА51-35 с  $I_{н.р.} = 31,5 А$ ,  $I_{э.р.} = 400 А$ -ток электромагнитного расцепителя ВА51-35.

$$I_{кр} = 8,75 \cdot 29 = 253,75 А$$

$$253,75 А < 400 А$$

Для остальных электроприемников и потребителей расчет и выбор производим аналогично.

Заносим окончательные результаты расчета в таблицу 10.

Таблица 10 – Расчет распределительной сети компрессорной станции

ЗАЩИТА	ТИП АВТОМ ВЫКЛЮ- ЧАТЕЛЯ	ТОКИ РАСЦЕПИТЕЛЕЙ			ЭЛЕКТРО ПРИЕМ НИК № НА ПЛАНЕ	АКТИВ- НАЯ МОЩ- НОСТЬ, кВт	КОЭФ- ФИЦИ- ЕНТ МОЩ- НОСТИ <i>cosφ</i>	РА- СЧЕТ- НЫЙ ТОК, А
		НОМ,А	УСТАВКИ РАСЦЕПИТЕЛЯ,А					
			ТЕПЛОВОГО	ЭЛЕКТРОМАГН.				
ЛИНИЯ	ДЛИНА, М	ТИП ПРОВОДНИКА		ДЛИТ ДОП ТОК				
ЗАЩИТА	ВА51-35	50	62,5	500	1ТВУ (2ТВУ,3ТВУ 4ТВУ)	25,8	0,8	
ЛИНИЯ	30	ВВГнг-LS -5x25		115				
ЗАЩИТА	ВА51-35	20	25	250	1ЩУ	10	0,87	
ЛИНИЯ	7.4	ВВГнг-LS -5x10		66				
ЗАЩИТА	ВА51-35	16	20	250	7(8,9,10)	4	0,85	
ЛИНИЯ	7	ВВГнг-LS -5x2,5		28				
ЗАЩИТА	ВА51-35	25	31,25	300	17(18,19,20)	14,0	0,9	
ЛИНИЯ	8	ВВГнг-LS -5x4		37				
ЗАЩИТА	ВА47-29	2	2,5	20	4м/7, 3м/7 2м/7, 1м/7	1,1	0,9	
ЛИНИЯ	10	ВВГнг-LS (5x 1,5 )		21				
ЗАЩИТА	ВА47-29	1,6	2	16	4м/2, 3м/2, 2м/2, 1м/2	0,6	0,9	
ЛИНИЯ	60	ВВГнг-LS (5x 1,5 )		21				
ЗАЩИТА	ВА47-29	1,6	2	16	4м/1, 3м/1, 2м/1, 1м/1	0,6	0,9	
ЛИНИЯ	50	ВВГнг-LS (5x 1,5 )		21				

Продолжение таблицы 10

ЗАЩИТА	ТИП АВТОМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ	ТОКИ РАСЦЕПИТЕЛЕЙ			ЭЛЕКТРОПРИЕМНИК № НА ПЛАНЕ	АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ, кВт	КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ $\cos\varphi$	РАСЧЕТНЫЙ ТОК, А
		НОМ,А	УСТАВКИ РАСЦЕПИТЕЛЯ,А					
			ТЕПЛОВОГО	ЭЛЕКТРОМАГН.				
ЛИНИЯ	ДЛИНА, М	ТИП ПРОВОДНИКА		ДЛИТ ДОП ТОК				
ЗАЩИТА	ВА47-25	1,6	2	16	4м/5,(3м/5, 2м/5, 1м/5)	0,4	0,9	1,0
ЛИНИЯ	30	ВВГнг-LS (5x 1,5 )		21				
ЗАЩИТА	ВА47-25	1,6	2	16	4м/4,(3м/4, 2м/4, 1м/4)	0,4	0,9	1,0
ЛИНИЯ	7.4	ВВГнг-LS (5x 1,5 )		21				
ЗАЩИТА	ВА51-35	40	50	500	1ШУ (2ШУ 3ШУ 4ШУ)	22	0,85	39,3
ЛИНИЯ	7	ВВГнг-LS -5x25		115				
ЗАЩИТА	ВА51-35	125	156,25	1500	1КВУ 2КВУ	66,0	0,85	118,0
ЛИНИЯ	8	ВВГнг-LS -5x50		177				
ЗАЩИТА	ВА47-25	6	7,5	60	4м/3,(3м/3, 2м/3, 1м/3)	3	0,85	5,3
ЛИНИЯ	10	ВВГнг-LS (5x1,5)		21				
ЗАЩИТА	ВА47-25	3	3,75	30	13(14)	1,5	0,85	2,7
ЛИНИЯ	60	ВВГнг-LS -5x1,5		21				
ЗАЩИТА	ВА47-25	2	2,5	20	22	1,1	0,9	1,8
ЛИНИЯ	50	ВВГнг-LS -5x1,5		21				

Продолжение таблицы 10

ЗАЩИТА	ТИП АВТОМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ	ТОКИ РАСЦЕПИТЕЛЕЙ			ЭЛЕКТРОПРИЕМНИК № НА ПЛАНЕ	АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ, кВт	КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ $\cos\varphi$	РАСЧЕТНЫЙ ТОК, А
		НОМ,А	УСТАВКИ РАСЦЕПИТЕЛЯ,А					
			ТЕПЛОВОГО	ЭЛЕКТРОМАГН.				
ЛИНИЯ	ДЛИНА, М	ТИП ПРОВОДНИКА		ДЛИТ ДОП ТОК				
ЗАЩИТА	ВА47-25	2	2,5	20	11,16	1,1	0,9	1,8
ЛИНИЯ	30	ВВГнг-LS -5x1,5		21				
ЗАЩИТА	ВА47-25	1,6	2	16	12(15,21)	0,6	0,9	1,0
ЛИНИЯ	7	ВВГнг-LS -5x1,5		21				
ЗАЩИТА	ВА47-25	3	3,75	30	ШУН	1,7	0,9	2,9
ЛИНИЯ	30	ВВГнг-LS -5x1,5		21				
ЗАЩИТА	ВА51-35	50	62,5	500	18	25	0,9	42,2
ЛИНИЯ	7	ВВГнг-LS -5x25		115				
ЗАЩИТА	ВА47-25	6	7,5	60	КиПиА	3,0	0,85	5,3
ЛИНИЯ	7	ВВГнг-LS (5x1,5)		21				
ЗАЩИТА	ВА47-25	6	7,5	60	17	3,0	0,85	5,3
ЛИНИЯ	30	ВВГнг-LS (5x1,5)		21				
ЗАЩИТА	ВА47-25	6	7,5	60	ШЗ	3,2	0,85	5,7
ЛИНИЯ	7	ВВГнг-LS (5x1,5)		21				

### 2.2.3 Выбор комплектного распределительного устройства 10 кВ цехов и кабелей

Для компрессорной станции в качестве РУ на 10 кВ выбираем КРУ «Аврора». Аппараты КРУ-10 кВ выбираем по номинальному току и напряжению, а также роду установки.

При выборе коммутационных аппаратов по напряжению нужно соблюдать условие:

$$U_{НОМ} \geq U_{УСТ}, \quad (43)$$

где  $U_{НОМ}$  – номинальное напряжение аппарата;  $U_{УСТ}$  – номинальное напряжение установки.

При выборе коммутационных аппаратов по номинальному току нужно соблюдать условие:

$$I_{НОМ} \geq I_p, \quad (44)$$

где  $I_p$  – расчетный ток нагрузки.

Для аппаратов ввода низкого и среднего напряжения и шиносоединительных аппаратов  $I_p$  – ток послеаварийного режима.

Определим расчетный ток на стороне высокого напряжения цеховой трансформаторной подстанции:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} \quad (45)$$

Согласно формуле (45) получаем:

$$I_p = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 607,9 \text{ А.}$$

По расчетному току выбираем:

- вводные автоматические выключатели цеховой трансформаторной подстанции ячеек № 7,8 типа ВВ/TEL-10-20/630 У2 на  $U_{НОМ} = 0,4$  кВ с номинальным током 630 А.

- ТТ шинного ввода ячеек №№ 7,8 типа ТЛМ-10  $U_{НОМ} = 10$  кВ с  $I_{НОМ} = 50$  А,  $i_{ном.дин} = 51$  кА,  $I_{Т.С.} = 20,0$  кА,  $t_{Т.С.} = 4,0$  с,  $I_{ном.откл.} = 23,0$  кА и коэффициентом трансформации 50/5;

- секционный выключатель КРУ-10 кВ ячейки № 1 типа ВВ/TEL-10-20/630 У2 на  $U_{НОМ} = 10,0$  кВ с номинальным током 630 А.

- секционный разъединитель КРУ-10 кВ ячейки № 2 типа РВ-10/400 с с  $I_{НОМ} = 400$  А,  $i_{ном.дин} = 41$  кА,  $I_{Т.С.} = 16,0$  кА,  $t_{Т.С.} = 4,0$  С.

Для выбора электрооборудования ячеек шинного ввода №№ 9,10 КРУ-10 кВ по величине расчетной нагрузки определим ток послеаварийного режима по (45):

$$I_p = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,0} = 23,00 \text{ А.}$$

По расчетному току выбираем:

- вводные автоматические выключатели КРУ-10 кВ типа ВА-61F29-20 на  $U_{НОМ} = 10$  кВ с  $I_{НОМ} = 50$  А,  $i_{ном.дин} = 51$  кА,  $I_{Т.С.} = 20,0$  кА,  $t_{Т.С.} = 4,0$  с,  $t_{откл.} = 0,12$  с,  $I_{ном.откл.} = 12,5$  кА.

- ТТ шинного ввода типа ТЛМ-10 на  $U_{НОМ} = 10,0$  кВ с  $I_{НОМ} = 100$  А,  $i_{ном.дин} = 51$  кА,  $I_{Т.С.} = 20,0$  кА,  $t_{Т.С.} = 4,0$  с,  $I_{ном.откл.} = 23,0$  кА. и коэффициентом трансформации 100/5.

Выбираем ТН ячеек № 3,4 типа НАМИТ-10 УХЛ2 на  $U_{НОМ} = 10,0$  кВ, номинальное напряжение вторичной обмотки  $U_2 = 100$  В и номинальной мощностью в классе точности 0,5  $S_{НОМ} = 120$  В А.

Выбираем ТН ячеек № 9,10 типа НОЛ.08-10 У2 на  $U_{НОМ} = 10,0$  кВ, номинальное напряжение вторичной обмотки  $U_2 = 100$  В и номинальной мощностью в классе точности 0,5  $S_{НОМ} = 75$  ВА.

Аналогично выбираем электрооборудование для остальных ячеек КРУ-10 кВ:

- ячейки № 7,8 кабельного вывода для питания цеховой трансформаторной подстанции;
- ячейки № 3,4 трансформаторов напряжения типа НАМИТ-10 УХЛ2;
- ячейки № 9,10 трансформаторов напряжения типа НОЛ.08-6 У2;
- ячейки №№ 5,6,13,14 кабельных выводов для питания электродвигателей центробежных компрессоров 10,0 кВ;
- ячейки №№ 9,10 шинного ввода;
- ячейки №№ 1,2 соответственно секционного разъединителя и секционного выключателя;
- ячейки №№ 15, 16 – резервные.

Габаритные размеры применяемых ячеек: 1300х×750×5000 мм.

Результаты выбора аппаратов КРУ-10 кВ и компоновку комплектующих его ячеек представим в таблице 12.

Таблица 12 – Компоновка КРУ-10 кВ компрессорной станции

Номер ячейки	Номер схемы	Название ячейки	Номинальное напряжение ячейки, кВ	Номинальный ток ячейки, А	Компоновка ячейки										
					Выключатель			Трансформатор тока			Трансформатор напряжения			Тип трансформаторного дитчика	Тип предохранителя
					Тип	Номинальный ток, А	Ток отключения, кА	Тип	Коэффициент трансформации	Ток термической стойкости, кА	Тип	U <sub>ном</sub> первичной обмотки, кВ	U <sub>ном</sub> вторичной обмотки, кВ		
1	26	Ячейка секционного разъединителя с выводом вправо	10,0	630	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	62	Ячейка секционного выключателя, вывод вправо	10,0	630	ВВ/TEL-10-20/630 У2	630	20	ТЛМ-10	600/5	23,0	-	-	-	-	-
3 4	23	Ячейка трансформатора напряжения	10,0	630	-	-	-	-	-	-	НАМИТ - 10УХЛ2	10,0	0,1	-	ПКН-001-10 У3
5 6 13 14	09	Ячейка кабельного вывода	10,0	630	ВВ/TEL-10-20/630 У2	630	20	ТЛМ-10	150/5	6,3	-	-	-	ТДЗЛ-0,66 У3	-
7 8	09	Ячейка кабельного вывода	10,0	630	ВВ/TEL-10-20/630 У2	630	20	ТЛМ-10	100/5	6,3	-	-	-	-	-
9 10	02	Ячейка шинного вывода	10,0	630	ВВ/TEL-10-20/630 У2	630	20	ТЛМ-10	600/5	23,0	-	-	-	-	-
11 12	89	Ячейка трансформаторов напряжения	10,0	630	-	-	-	-	-	-	2×НОЛ. 0 8-10 У2	10,0	0,1	-	ПКН-001-10 У3



Схему распределительных сетей 10 кВ выполняю смешанной.

После разработки схемы внутриводской сети произвожу выбор кабеля напряжением выше 1000 В [15].

Выбор кабеля произвожу по расчетному току линии в нормальном режиме работы:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p / K_{\text{попр}}$$

где  $I_{\text{доп}}$  – длительно-допустимый ток, А;

$I_p$  – расчетный ток, А;

$K_{\text{попр}}$  – поправочный коэффициент на условие прокладки проводов и кабелей  $K_{\text{попр}} = 0,84$

Проверяю выбранное сечение по току послеаварийного режима

$$I_{\text{ав}} = 1,4 \cdot S_{\text{ном.т.}} / \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot K_{\text{попр}}. \quad (46)$$

коэффициент перегрузки определяю по формуле:

$$K_{\text{пер}} = I_{\text{ав}} / I_{\text{доп}} \quad (47)$$

$$K_{\text{пер}} \leq K_{\text{пер.доп}} \quad (48)$$

где  $K_{\text{пер.доп}}$  – допустимый коэффициент перегрузки,  $K_{\text{пер.доп}} = 1,2$ .

Проверяю выбранное сечение проводов:

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{I_p}{j_{\text{ЭК}}}; \quad (49)$$

где  $j_{\text{ЭК}}$  – экономическая плотность тока;

$$j_{\text{ЭК}} = 1,4 \text{ А/мм}^2$$

Фактически допустимая токовая нагрузка кабеля определяется по выражению:

$$I_{\text{доп.факт}} = I_{\text{доп.к.}} \cdot K_0 \cdot K_p \cdot K_{\text{пер}} \quad (50)$$

где  $I_{\text{доп.к.}}$  – допустимая токовая нагрузка в зависимости от марки кабеля, согласно [30], А;

$K_0$  – коэффициент, учитывающий фактическую температуру окружающей среды, он равен  $K_0 = 0,94$ ;

$K_p$  – коэффициент, учитывающий количество проложенных кабелей в траншее;

$K_{пер}$  – коэффициент, систематической перегрузки и способа прокладки  
 $K_{пер} = 1,2$ ;

Фактически допустимая токовая нагрузка кабеля должна удовлетворять следующему условию:

$$I_{доп.факт} \leq I_{дл.доп}. \quad (51)$$

Провожу расчет кабеля для ТП1:

$$I_p = S_{ТП1} + S_{ТП2} / n \cdot \sqrt{3} \cdot U_n \quad (52)$$

где  $n$  – количество трансформаторов в КТП;

$U$  – номинальное напряжение трансформатора, кВ;

$$I_p = 655,573 + 643,594 / 2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10 = 37,5 \text{ (А)};$$

$$I_{доп} \geq 37,5 / 0,84 = 44,647 \text{ (А)};$$

выбираю кабель ААШВУ сечением жилы  $16 \text{ мм}^2$ ; на  $I_{доп} = 75 \text{ А}$ .

По условию аварийного режима:

$$I_{ав} = 1,4 \cdot 400 + 1,4 \cdot 400 / \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,84 = 76,98 \text{ (А)}$$

По условию перегрузки:

$$K_{пер} = 76,98 / 75 = 1,03$$

По условию экономической плотности:

$$S_{эк} = 37,5 / 1,4 = 26,79 \text{ (мм}^2\text{)}$$

Выбираю кабель стандартного сечения  $S = 25 \text{ мм}^2$ ; на  $I_{доп} = 90 \text{ А}$ ,

$$K_{пер} = 79,98 / 90 = 0,86$$

Получаю фактическую допустимую нагрузку на кабель:

$$I_{доп.факт} = 90 \cdot 0,94 \cdot 0,7 \cdot 1,2 = 76,14 \text{ (А)}$$

Проверяем:  $76,14 \text{ А} \leq 90 \text{ А}$ .

По аналогии рассчитываю кабель для остальных трансформаторных подстанций, результаты свожу в таблицу 13.

Таблица 13 – Расчет кабельных трасс 10 кВ

Линия			I <sub>p</sub> , А	Кпопр	I <sub>ав</sub> , А	Кпер	Сэк, мм <sup>2</sup>	Кабель		
№	откуда	куда						Марка	Число жил и сечений	Идоп, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,2	ГПП	РП1	188,792	0,84	488,801	1,09	134,851	ААШвУ	2 (3×95)	410
3,4	ГПП	ТП1	37,5	0,84	76,98	0,86	26,79	ААШвУ	3×25	90
5,6	ТП1	ТП21	18,579	0,84	38,49	0,51	13,27	ААШвУ	3×16	75
7,8	ГПП	ТП2	80,2	0,84	145,437	1,04	57,286	ААШвУ	3×50	140
9,10	ТП2	ТП3	50,409	1	84,816	0,74	36,006	ААШвУ	3×35	115
11	ТП3	ТП23	20,607	0,84	-	-	14,719	ААШвУ	3×16	75
12	ТП3	ТП22	20,801	0,84	-	-	14,858	ААШвУ	3×16	75
13,14	ГПП	ТП4	152,06	0,84	307,92	1,12	108,614	ААШвУ	3×150	275
15,16	ТП4	ТП7	74,807	0,84	153,96	1,1	53,434	ААШвУ	3×50	140
19,20	ГПП	ТП8	77,252	0,84	153,96	1,1	55,18	ААШвУ	3×50	140
17	ГПП	ТП5	77,252	0,84	153,96	1,1	55,18	ААШвУ	3×50	140
18	ГПП	ТП6	74,807	0,84	153,96	1,1	53,434	ААШвУ	3×50	140
21,22	ГПП	ТП9	96,113	0,84	192,45	1,17	68,652	ААШвУ	3×70	165
23,24	ТП9	ТП10	48,057	1	80,829	0,703	34,326	ААШвУ	3×35	115
25,26	ГПП	ТП11	96,727	0,84	195,337	1,18	69,091	ААШвУ	3×70	165
27,28	ТП11	ТП16	48,671	0,84	99,112	0,867	34,765	ААШвУ	3×35	115
29,30	ТП16	ТП15	18,919	1	32,332	0,431	13,514	ААШвУ	3×16	75
31,32	ГПП	ТП12	114,418	0,84	214,307	1,05	81,727	ААШвУ	3×95	205
33,34	ТП12	ТП13	66,632	0,84	118,082	0,84	47,587	ААШвУ	3×50	140
35	ТП13	ТП18	18,538	0,84	-	-	13,241	ААШвУ	3×16	75
36	ТП13	ТП17	18,827	0,84	-	-	13,448	ААШвУ	3×16	75
37,38	ГПП	ТП14	77,876	0,84	153,96	1,1	55,626	ААШвУ	3×50	140
39,40	ГПП	ТП20	41,697	0,84	96,225	1,07	29,784	ААШвУ	3×25	90
41,42	ГПП	РП2	69,181	0,84	159,955	1,14	47,986	ААШвУ	3×50	140

## 2.2.4 Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП

На ГПП устанавливается два трансформатора. Выбор мощности трансформаторов производим с учетом режима энергоснабжения по расчетной нагрузке предприятия [24].

Расчетную активную мощность определяем с учетом коэффициента одновременности максимумов по формуле:

$$P_{\text{расч.}} = \sum P_{pi} \cdot K_{p,m}, \quad (53)$$

где  $\sum P_{pi}$  - сумма активны мощностей всех установок. кВт.

$K_{p,m}$  – коэффициент одновременности максимумов нагрузок,

$K_{p,m} = 0,98$  по [10].

$$P_{расч.} = 34031,455 \cdot 0,98 = 33350,826 \text{ кВт.}$$

Мощность, которую передает энергосистема, определяем по формуле:

$$Q_{\text{э1}} = a \cdot P_{расч.}, \quad (54)$$

где  $a$  – расчетный коэффициент;  $a=0,28$ .

$$Q_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 33350,826 = 9338,823 \text{ квар.}$$

Полная расчетная мощность определяется по формуле:

$$S_{расч.ГПП} = \sqrt{P_{расч.}^2 + Q_{\text{э1}}^2}, \quad (55)$$

$$S_{расч.ГПП} = \sqrt{33350,826^2 + 9338,823^2} = 34633,512 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Номинальную мощность трансформатора ГПП вычисляем по выражению:

$$S_{ном.Т.ГПП} \geq \frac{S_{расч.ГПП}}{2 \cdot K_3}, \quad (56)$$

где  $K_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов;

2 – количество трансформаторов на ГПП.

Нагрузка каждого из двух трансформаторов не должна превышать 70-80%.

$$S_{ном.Т.ГПП} = \frac{34633,512}{2 \cdot 0,8} = 21645,97 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Принимаю к установке два трансформатора мощностью ТРДЦН-25000/110.

Коэффициент загрузки:

$$K_3 = \frac{34633,612}{2 \cdot 25000} = 0,69.$$

## 2.2.5 Расчет и выбор типов и мощностей компенсирующих устройств на ГПП

Суммарную расчетную мощность высоковольтных КУ (компенсирующих устройств) определим по формуле:

$$Q_{BKV} = \sum_{i=1}^n Q_{HC} - Q_{Э1} + \Delta Q_{ГПП}. \quad (57)$$

Для ТП1 некомпенсированная реактивная мощность будет равна:

$$Q_{н.с.} = 962,728 - 732 + 39,724 = 270,452 \text{ (квар)};$$

Также рассчитываем  $Q_{н.с.}$  для остальных ТП. Результаты расчетов сведены в таблицу 14.

Таблица 14 – Некомпенсированная реактивная нагрузка ТП

№ ТП	$Q_p$ , квар	$Q_{кун}$ , квар	$\Delta Q_T$ , квар ;	$Q_{н.с.}$ , (квар);
1	2	3	4	5
1	962,728	732	39,724	270,452
2	1529,982	1200	69,33	399,312
3	1394,904	582	67,362	880,266
4	5430,01	1296	194,716	3778,084
5		648	97,358	
6	4585,663	648	93,775	2926,988
7		1292	187,55	
8	2421,895	900	195,728	1717,623
9		648	117,876	
10	4342,312	648	117,876	2751,94
11		648	117,876	
12	3824,04	864	125,872	2347,784
13		864	125,872	
14	2733,354	864	194,996	2064,35
15	234,96	75	39,61	199,57
16	371,884	150	69	290,844
17	552,474	324	19,776	248,25
18	620,445	375	19,351	264,796
19	- 2271,397	600	58,578	- 2812,819
20	3264,267	1500	109,746	1874,013
21	906,535	600	38,59	345,125
22	698,609	432	22,339	288,948
23	377,706	300	21,93	99,636

Общая по предприятию нескомпенсированная реактивная мощность составит 17935,16 квар.

Потери реактивной мощности в силовом трансформаторе ГПП  $\Delta Q_{\text{т.ГПП}}$ :

$$\Delta Q_{\text{т.ГПП}} = S_{\text{ном}} / 100 \cdot (U_{\text{к}} \cdot K_{\text{з}}^2 + i_{\text{хх}})$$

где  $U_{\text{к}}$  и  $i_{\text{хх}}$  – каталожные данные силового трансформатора типа ТРДН – 25000/110,  $U_{\text{к}} = 10,5\%$ ,  $i_{\text{хх}} = 0,8\%$ .

$$\Delta Q_{\text{т.ГПП}} = 25000/100 \cdot (10,5 \cdot 0,69^2 + 0,8) = 1449,763 \text{ (квар)}$$

Величина расчетной мощности высоковольтных КУ составит:

$$Q_{\text{БКУ}} = 17935,17 - 9338,231 + 2 \cdot 1449,763 = 11496,455 \text{ квар}$$

Устанавливаю 8 конденсаторных установок:

4 КУ – УКП – 10,5 – 1350 УЗ;

4 КУ – УКП – 10,5 – 1800 УЗ;

суммарной мощностью 12600 квар

## **2.2.6 Выбор схемы и оборудования распределительного устройства ГПП**

Учитывая характер электрических нагрузок цехов, категории их надежности, размещение цехов на генеральном плане предприятия, выбираем схему ГПП [28]. Во внимание так же принимаются производственные, эксплуатационные и архитектурно-строительные требования.

На проектируемом машиностроительном заводе применяем схему ГПП с двумя системами секционированных шин с применением автоматики на секционных выключателях. Выбираем РУ-110 кВ и РУ-10 кВ открытого типа.

Для уменьшения нагрузки на шины, используется четыре секции, распределив нагрузку на каждую шину равномерно.

Расчетный ток на I и III секции будет равен 557,109А, на II и IV секции –  $I_{\text{р}} = 549,959$  А. Таким образом нагрузка на шинах распределена примерно равномерно.

Для РУ-10 кВ используем комплектные РУ (КРУ) серии «АВРОРА».

Выполним выбор электрического оборудования для ОРУ-110 кВ и ЗРУ-10 кВ.

Выключатели выбираем по таким условиям:

- по номинальному напряжению участка сети:

$$U_{НОМ,А} \geq U_{НОМ,У}, \quad (58)$$

где:  $U_{НОМ,а}$  – номинальное напряжение участка сети выключателя, кВ;  
 $U_{НОМ,у}$  – номинальное напряжение участка сети установки, кВ.

- по номинальному длительному току участка сети:

$$I_{НОМ,А} \geq I_{р,у}, \quad (59)$$

где:  $I_{НОМ,а}$  – номинальный ток участка сети выключателя, А;  $I_{р,у}$  – расчетное значение тока участка сети установки А.

- по номинальному току участка сети отключения:

$$I_{НОМ,О} \geq I_{р,О}, \quad (60)$$

где:  $I_{НОМ,о}$  – номинальный ток участка сети отключения выключателя, кА;  $I_{р,о}$  – расчетное значение тока участка сети трехфазного КЗ в момент отключения, кА.

- по номинальной мощности участка сети отключения:

$$S_{НОМ,О} \geq S_{р,О}, \quad (61)$$

где:  $S_{ом,о}$  – номинальная мощность участка сети отключения выключателя, кВА;  $S_{р,о}$  – расчетное значение мощности трехфазного короткого замыкания в момент отключения выключателя, кВА.

$$I_{НОМ,О} \geq \frac{I_{р,О}}{K_{АПВ}}, \quad (62)$$

$$S_{НОМ,О} \geq \frac{S_{р,О}}{K_{АПВ}}, \quad (63)$$

где:  $K_{апв}$  – коэффициент уменьшения отключаемого мощности и тока участка сети при наличии АПВ.

Далее выполним проверку выключателей согласно выражению:

- по электродинамической стойкости к токам короткого замыкания:

$$i_{НОМ,ДИН.} \geq i_{у,р}, \quad (64)$$

где:  $i_{НОМ,ДИН.}$  – номинальный ток динамической стойкости выключателя, кА;

$i_{у,р}$  – расчетное значение ударного тока трехфазного короткого замыкания, кА.

- по термической стойкости к токам короткого замыкания:

$$I_{НОМ.Т.С.} \geq I_{\infty} \cdot \sqrt{\frac{t_{п}}{t_{НОМ.Т.С.}}}, \quad (65)$$

где:  $I_{НОМ.Т.С.}$  – номинальный ток термической стойкости выключателя, кА;

$t_{п}$  – приведенное время КЗ, с;

$t_{НОМ.Т.С.}$  – время, к которому отнесен номинальный ток термической стойкости  $I_{НОМ.Т.С.}$ .

Выбор предохранителей выполняем по следующим параметрам:

- по номинальному напряжению участка сети:

$$U_{НОМ,А} \geq U_{НОМ,У}, \quad (66)$$

где:  $U_{НОМ,а}$  – номинальное напряжение участка сети предохранителя, кВ;

$U_{НОМ,у}$  – номинальное напряжение участка сети установки, кВ.

- по номинальному току участка сети:

$$I_{НОМ,А} \geq I_{р,у}, \quad (67)$$

где:  $I_{НОМ,а}$  – номинальный ток участка сети предохранителя, А;

$I_{р,у}$  – расчетное значение тока участка сети установки, А.

- по номинальному току участка сети отключения:



$$I_{НОМ,О} \geq I_{P,О}, \quad (68)$$

где:  $I_{НОМ,О}$  – номинальный отключаемый предохранителем ток для участка сети, кА;  $I_{P,О}$  – расчетное значение тока короткого замыкания в момент отключения, кА.

- по номинальной мощности отключения:

$$S_{НОМ,О} \geq S_{P,О}, \quad (69)$$

где:  $S_{НОМ,О}$  – номинальная мощность отключения выключателя, кВА;

$S_{P,О}$  – расчетное значение мощности трехфазного КЗ в момент отключения, кВА.

Выбор ТТ производится по следующим условиям [26]:

- по номинальному напряжению, аналогично (66);

- по номинальному току, аналогично (67);

- по конструкции и классу точности;

- по вторичной нагрузке:

$$S_{2,НОМ} \leq S_2, \quad (70)$$

где:  $S_2$  – вторичная нагрузка ТТ, ВА;

$S_{2,НОМ}$  – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности, ВА.

- по электродинамической стойкости:

$$i_y \leq K_{эд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{НОМ}, \quad (71)$$

$$i_y \leq i_{ДШН}, \quad (72)$$

где:  $i_y$  – ударный ток КЗ для участка сети по расчету, кА;

$K_{эд}$  – кратность электродинамической стойкости по каталогу;

$I_{\text{НОМ}}$  – номинальный первичный ток для участка сети ТТ, А;

$i_{\text{дин}}$  – ток электродинамической стойкости, кА.

- по термической стойкости:

$$B_K \leq (K_T \cdot I_{\text{НОМ}})^2 \cdot t_{\text{ТЕР}}, \quad (73)$$

$$B_K \leq I_{\text{ТЕР}}^2 \cdot t_{\text{ТЕР}}, \quad (74)$$

где:  $B_K$  – тепловой импульс по расчету, кА<sup>2</sup>с;

$K_T$  – кратность термической стойкости по каталогу;

$t_{\text{ТЕР}}$  – время термической стойкости по каталогу;

$I_{\text{ТЕР}}$  – ток термической стойкости, кА.

Выбор ТН производится по следующим условиям [11]:

- по номинальному напряжению участка сети, аналогично (66);

- по номинальному току участка сети, аналогично (67);

- классу точности;

- по вторичной нагрузке, аналогично (70).

Для упрощения расчетов нагрузку  $S_{2,\Sigma}$  допускается не разделять по фазам, тогда:

$$S_{2,\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{\text{ПРИБ.}} \cdot \cos \varphi_{\text{ПРИБ.}})^2 + (\sum S_{\text{ПРИБ.}} \cdot \sin \varphi_{\text{ПРИБ.}})^2} = \sqrt{P_{\text{ПРИБ.}}^2 + Q_{\text{ПРИБ.}}^2}. \quad (75)$$

При излишней мощности нагрузки дополнительно устанавливают ТН типа НОЛ.

Выбор разъединителей выполняется по следующим параметрам [11]:

- по номинальному напряжению участка сети, аналогично (66);

- по номинальному току участка сети, аналогично (67);

- по роду установки и конструкции;

- по электродинамической стойкости, аналогично (71, 72);

Выбираем аппараты на стороне высокого напряжения:  $U_{уст.} = 110$  кВ.

Рассчитаем ток на стороне 110кВ:

$$I_p = \frac{38299,341}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 100,51 \text{ А.}$$

По величине расчетного тока на стороне ВН  $U_{уст.} = 110$  кВ выбираем:

- выключатель типа ВВЭЛ-110-20/1250 УЛ на  $U_{ном.} = 110,0$  кВ с  $I_{ном.} = 1250$  А,  $i_{ном.дин.} = 50$  кА,  $I_{т.с.} = 20,0$  кА,  $t_{т.с.} = 3,0$  с,  $t_{откл.} = 0,08$  с,  $I_{ном.откл.} = 20,0$  кА.

- разъединители типа РДЗ – 110/1000 УЗ,  $I_{ном.} = 1000$  А, амплитуда предельного сквозного тока КЗ  $i_{ном.дин.} = 80$  кА, предельный ток термической стойкости  $I_{т.с.} = 31,5$  кА; время протекания наибольшего тока термической устойчивости  $t_{т.с.} = 3$  с;

- заземлители типа ЗОН – 110М,  $U_{ном.} = 110$  кВ;  $I_{ном.} = 400$  А,  $i_{ном.дин.} = 16$  кА;

- для защиты изоляции электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений выбираем ограничитель перенапряжений ОПН-110 УХЛ1 и ОПН-42УХЛ.

- ТН типа НКФ-110-58 на  $U_{ном.} = 110,0$  кВ, номинальное напряжение вторичной обмотки  $U_2 = 100$  В и номинальной мощностью в классе точности 0,5  $S_{ном.} = 400$  ВА;

- ТТ типа ТФЗМ-110Б на  $U_{ном.} = 110$  кВ с  $I_{ном.} = 150$  А, вторичным током  $I_2 = 5$  А,  $i_{ном.дин.} = 40$  кА,  $I_{т.с.} = 16$  кА,  $t_{т.с.} = 3,0$  с,  $Z_{2ном.} = 30,0$  ВА в классе точности 0,5 с номинальной предельной кратностью:

$$K_{эд} = \frac{i_{ном.дин.}}{\sqrt{2} \cdot I_{ном.т.т.}} = \frac{14 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 600} = 16,5.;$$

- ТТ типа ТВТ на  $U_{\text{НОМ.}} = 110$  кВ с  $I_{\text{НОМ.}} = 150$  А, вторичным током  $I_2 = 5$  А,  $I_{\text{т.с.}} = 15$  кА,  $t_{\text{т.с.}} = 3$  с,  $Z_{2\text{НОМ}} = 30,0$  ВА в классе точности 0,5 с номинальной предельной кратностью:

$$K_{\text{эд}} = \frac{i_{\text{НОМ.ДИН.}}}{\sqrt{2} \cdot I_{\text{НОМ.Т.Т}}} = \frac{14 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 400} = 25.$$

Для проверки выбранных ТТ по вторичной нагрузке, пользуясь каталожными данными подключаемых приборов, определяем нагрузку каждого трансформатора. Вторичная нагрузка выбранных ТТ типа ТФЗМ-110 У1 сведена в табл. 15. в качестве вторичной нагрузке принимает счетчик «АЛЬФА-А2»

Из таблицы 15 видно, что наиболее загружены ТТ фаз А и С.

Номинальная мощность выбранного ТТ 30,0 ВА:

$$0,5 \text{ ВА} < 30 \text{ ВА},$$

Следовательно, соблюдается условие выбора по вторичной нагрузке ТТ.

Таблица 15 – Вторичная нагрузка ТТ типа ТФЗМ-110 У1

Прибор	Нагрузка, ВА, фазы		
	А	В	С
АЛЬФА-А2	0,5	-	0,5
Итого	0,5	-	0,5

Проверку выбранных ТТ типа ТВТ-110 по вторичной нагрузке производим аналогично.

Для проверки выбранных ТН по вторичной нагрузке согласно (75), пользуясь каталожными данными подключаемых приборов, определяем нагрузку каждого трансформатора [19]. Вторичная нагрузка выбранных трансформаторов выбирается согласно использованию прибора «АЛЬФА – А2»

Выбранный ТН типа НКФ-110-58 имеет номинальную мощностью в классе точности 0,5  $S_{ном.} = 300 \text{ ВА}$ , что больше расчетного значения  $S_{2,\Sigma}$ :

$$300 \text{ ВА} > 3 \text{ ВА}.$$

Условие выполняется, значит, ТН будут работать в требуемом классе точности 0,5.

Выбираем аппараты на стороне среднего напряжения:  $U_{уст.} = 10 \text{ кВ}$ .

В нормальном режиме:

$$I_p = \frac{34633,512}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,0} = 499,90 \text{ А}.$$

Величина расчетного тока от силового трансформатора до РУ-10 кВ в послеаварийном режиме составит:

$$I_p = \frac{34633,512 \cdot 1,4}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,0} = 700 \text{ А}.$$

С учетом полученных величин расчетного тока выбираем электрооборудование ячеек секционного выключателя и разъединителя, вводных ячеек, ячеек трансформаторов напряжения КСО-10 кВ:

- выбираем секционные выключатели ячеек серии КСО-10 «АВРОРА» № 29,30 типа ВВ/TEL-10-20/1000 УХЛ2 на  $U_{ном.} = 10,0 \text{ кВ}$  с  $I_{ном.} = 1600 \text{ А}$ ,  $i_{ном.дин.} = 81 \text{ кА}$ ,  $I_{т.с.} = 31,5 \text{ кА}$ ,  $t_{т.с.} = 3,0 \text{ с}$ ,  $t_{откл.} = 0,12 \text{ с}$ ,  $I_{ном.откл.} = 20 \text{ кА}$ ;

- ТТ ячеек серии КСО-10 «АВРОРА» № 29,30 типа ТЛШ-10 УЗ на  $U_{ном.} = 10,0 \text{ кВ}$  с  $I_{ном.} = 500 \text{ А}$ ,  $i_{ном.дин.} = 81 \text{ кА}$ ,  $I_{т.с.} = 31,5 \text{ кА}$ ,  $t_{т.с.} = 3,0 \text{ с}$ ;

- ТН ячеек серии КСО-10 «АВРОРА» № 25,26,32,33 типа НАМИТ-10 УХЛ2 на  $U_{ном.} = 10,0 \text{ кВ}$ , номинальное напряжение вторичной обмотки  $U_2 = 100 \text{ В}$  и номинальной мощностью в классе точности 0,5  $S_{ном.} = 120 \text{ ВА}$ ;

- вводные выключатели ячеек серии КСО-10 «АВРОРА» № 19,22,34,35 типа ВВ/TEL-10-20/1000 УХЛ2 на  $U_{ном.} = 10,0 \text{ кВ}$  с  $I_{ном.} = 1600 \text{ А}$ ,  $i_{ном.дин.} = 81 \text{ кА}$ ,  $I_{т.с.} = 31,5 \text{ кА}$ ,  $t_{т.с.} = 3,0 \text{ с}$ ,  $t_{откл.} = 0,12 \text{ с}$ ,  $I_{ном.откл.} = 20 \text{ кА}$ ;

- ТТ ячеек серии КСО-10 «АВРОРА» № 19,22,34,35 типа ТЛШ-10 УЗ на  $U_{\text{ном.}} = 10,0 \text{ кВ}$  с  $I_{\text{ном.}} = 500 \text{ А}$ ,  $i_{\text{ном.дин.}} = 81 \text{ кА}$ ,  $I_{\text{т.с.}} = 31,5 \text{ кА}$ ,  $t_{\text{т.с.}} = 3,0 \text{ с}$ ;

Подробнее рассмотрим выбор ТН ячеек № 25,26,32,33.

Выбираем ТН ячеек № 25, 26, 32, 33 типа НАМИТ-10 УХЛ-2 на  $U_{\text{ном.}}=10,0\text{кВ}$ , номинальное напряжение вторичной обмотки  $U_2=100\text{В}$  и номинальной мощностью в классе точности 0,5  $S_{\text{ном.}} = 120 \text{ ВА}$ .

Для проверки выбранных ТН по вторичной нагрузке, пользуясь каталожными данными подключаемых приборов, определяем нагрузку каждого трансформатора [16].

Вторичная нагрузка выбранного ТН:

$$S_{2,\Sigma} = \sqrt{32^2 + 76,8^2} = 83,655 \text{ ВА.}$$

Выбранный трансформатор напряжения типа НАМИТ-10 УХЛ-2 имеет номинальную мощность в классе точности 0,5  $S_{\text{ном.}} = 120 \text{ ВА}$ , что меньше расчетного значения  $S_{2,\Sigma}$ :

$$120 \text{ ВА} < 83,655 \text{ ВА.}$$

Поэтому не предусматриваем дополнительно установку однофазных трансформаторов.

Вторичная нагрузка выбранных трансформаторов напряжения указана в таблице 16.

Таблица 16 – Вторичная нагрузка ТН

Прибор	Тип	S одной обмотки, ВА	Число обмоток	Cos φ	Sin φ	Число приборов	Общая потребляемая мощность	
							P, Вт	Q, ВА
Счетчик «АЛЬФА- А2»		2	1	1	0	1	2	-
		1,5	2	1	0	1	3	-
		4,5 Вт	2	0,38	0,925	8	32	58,42
		3 Вт	2	0,38	0,925	8	48	116,84
		1,5	2	1	0	1	3	-
Итого	-	-	-	-	-	-	32	175,6

Для выбора электрооборудования кабельных ячеек определяем величину расчетного тока каждой ячейки по формуле (70). С учетом полученных значений выбираем:

- выключатели кабельных ячеек серии КСО-10 «АВРОРА» № 1 - 16,18,40, 42,44-59 типа ВВ/ТЕЛ-10-20/630 УХЛ2 на  $U_{\text{ном.}} = 10,0$  кВ с  $I_{\text{ном.}} = 630$  А,  $i_{\text{ном.дин.}} = 51$  кА,  $I_{\text{т.с.}} = 20,0$  кА,  $t_{\text{т.с.}} = 4,0$  с,  $t_{\text{откл.}} = 0,12$  с,  $I_{\text{ном.откл.}} = 12,5$  кА;

- ТТ ячеек серии КСО-10 «АВРОРА» № 10,46 типа ТПЛ-10 на  $U_{\text{ном.}} = 10,0$  кВ с  $I_{\text{ном.}} = 100$  А,  $i_{\text{ном.дин.}} = 51$  кА,  $I_{\text{т.с.}} = 6,3$  кА,  $t_{\text{т.с.}} = 4,0$  с;

- ТТ ячеек серии КСО-10 «АВРОРА» № 7,49 типа ТПЛ-10 на  $U_{\text{ном.}} = 10,0$  кВ с  $I_{\text{ном.}} = 150$  А,  $i_{\text{ном.дин.}} = 51$  кА,  $I_{\text{т.с.}} = 7,2$  кА,  $t_{\text{т.с.}} = 4,0$  с;

- ТТ ячеек серии КСО-10 «АВРОРА» № 4-6,8,40,42,44,47 типа ТПЛ-10 на  $U_{\text{ном.}} = 10,0$  кВ с  $I_{\text{ном.}} = 300$  А,  $i_{\text{ном.дин.}} = 51$  кА,  $I_{\text{т.с.}} = 8,4$  кА,  $t_{\text{т.с.}} = 4,0$  с;

- ТТ ячеек серии КСО-10 «АВРОРА» № 9-14,48,50, 51,53,55 типа ТПЛ-10 на  $U_{\text{ном.}} = 10,0$  кВ с  $I_{\text{ном.}} = 400$  А,  $i_{\text{ном.дин.}} = 51$  кА,  $I_{\text{т.с.}} = 18,4$  кА,  $t_{\text{т.с.}} = 4,0$  с;

- ТТ ячеек серии КСО-10 «АВРОРА» № 15,16,18,52, 54,57 типа ТПЛ-10 на  $U_{\text{ном.}} = 10,0$  кВ с  $I_{\text{ном.}} = 600$  А,  $i_{\text{ном.дин.}} = 51$  кА,  $I_{\text{т.с.}} = 23,0$  кА,  $t_{\text{т.с.}} = 4,0$  с;

- по условиям (11.1) и (11.2) выключатели кабельных ячеек серии КСО-10 «АВРОРА» № 3,45 типа ВВ/ТЕЛ-10-20/630 УЗ на  $U_{\text{ном.}} = 10,0$  кВ с  $I_{\text{ном.}} = 630$  А,  $i_{\text{ном.дин.}} = 51$  кА,  $I_{\text{т.с.}} = 20,0$  кА,  $t_{\text{т.с.}} = 4,0$  с,  $t_{\text{откл.}} = 0,12$  с,  $I_{\text{ном.откл.}} = 20,0$  кА.

- по условиям (11.25) – (11.27) ТТ ячеек серии КСО-10 «АВРОРА» № 3,45 типа ТПЛ-10 на  $U_{\text{ном.}} = 10,0$  кВ с  $I_{\text{ном.}} = 800$  А,  $i_{\text{ном.дин.}} = 51$  кА,  $I_{\text{т.с.}} = 23,0$  кА,  $t_{\text{т.с.}} = 4,0$  с.

- по условиям (11.25) – (11.27) ТТ для защиты от замыканий на землю кабельных ячеек серии КСО-10 «АВРОРА» № 1 – 16, 40,42,44 – 59 типа ТДЗЛК-1-0,66 УЗ на  $U_{\text{ном.}} = 10,0$  кВ с  $I_{\text{т.с.}} = 0,14$  кА,  $t_{\text{т.с.}} = 1$  с и номинальным диаметром охватываемого кабеля  $70 \text{ мм}^2$ .

Для примера подробнее рассмотрим выбор ТТ ячеек № 15,16,18,52-54.

Для ячеек № 15,16,18,52,54,57 выбираем ТТ типа ТПЛ-10 на  $U_{ном.}=6,0$  кВ с  $I_{ном.}=600$  А,  $i_{ном.дин.}=51$  кА,  $I_{т.с.}=23,0$  кА,  $t_{т.с.}=4,0$  с.

Для проверки выбранных ТТ по вторичной нагрузке, пользуясь каталожными данными подключаемых приборов, определяем нагрузку каждого трансформатора. Вторичная нагрузка выбранных трансформаторов тока указана в таблице 17.

Таблица 17 – Вторичная нагрузка выбранных ТТ

Прибор	Тип	Нагрузка, ВА		
		А	В	С
Счетчик «АЛЬФА-2А»		-	0,5	-
		2,5	-	2,5
		2,5	2,5	-
Итого	-	5,0	3,0	2,5

Из таблицы 17 видно, что наиболее загружен трансформатор тока фазы А. Выбранный ТТ имеет номинальную мощность 30,0 ВА в классе точности 0,5. Таким образом:

$$5,0 \text{ ВА} < 30 \text{ ВА},$$

Следовательно, условие выбора ТТ по вторичной нагрузке соблюдается.

Выбор ТТ остальных ячеек производится аналогично.

Выбор ТСН ячеек № 25 и 41 производим по методике, изложенной в [8].

Для нахождения расчетной нагрузки собственных нужд для начала нужно определить основных приемников СН подстанции –  $P_{уст.}$ , кВт. Приняв для двигательной нагрузки  $\cos\varphi = 0,85$ , находят  $Q_{уст.}$  и расчетную нагрузку по формуле:

$$S_{расч.} = K_c \cdot \sqrt{P_{уст.}^2 + Q_{уст.}^2}, \text{ кВА} \quad (76)$$

где  $K_c$  – коэффициент спроса, который учитывает коэффициенты нагрузки и одновременности; согласно [20] равно  $K_c = 0,8$ .

В случае если на ГПП установлено два трансформатора СН и есть дежурный персонал, то их мощность ТСН находится по условию:



$$S_T \geq \frac{S_{PACЧ}}{K_{II}}, \text{ кВА} \quad (77)$$

где  $K_{II}$  – коэффициент разрешенной аварийной перегрузки, согласно [20] равен  $K_{II} = 1,4$ .

Нужно также учесть, что максимальная мощность каждого трансформатора СН должна превышать 630кВА. При ТЭО допускается применение трансформаторов 1000 кВА при  $u_K = 8\%$  [5].

## **Выводы по разделу 2**

Во втором разделе дипломной работы рассчитаны силовая и низковольтная нагрузка предприятия с учетом системы освещения. На основании технико-экономических расчетов производился выбор:

- экономически и технически обоснованного количества, мощности и режима работ силовых трансформаторов ГПП и цеховых ТП;
- токоведущих устройств и электрических аппаратов [18];
- сечений жил кабелей и проводов;
- целесообразной мощности трансформатора СН и их числа;
- способов прокладки и трасс электрических сетей с учетом коммуникаций энергохозяйства завода;
- экономически и технически целесообразных средств КРМ.

В цеховых сетях 0,4 кВ установлены защитные аппараты, обеспечивающие выявление повреждений в линиях, питающих щитовое оборудование и электроприемники (токовая отсечка для выявления коротких замыканий и токовая защита от перегрузок).

В качестве защитных аппаратов выбран выключатель серии ВА. Выключатели проверены на устойчивость к токам К.З., а также построена карта селективности.

Предусмотрена компенсация реактивной мощности в цехах на 0,4 кВ и на ГПП на 10 кВ.

## 3 Расчет и выбор аппаратов релейной защиты

### 3.1 Расчет токов короткого замыкания

По схеме электроснабжения завода составим схему замещения (рисунок 9). Так как напряжение выше 1кВ, то при расчете схемы замещения активное сопротивление учитывать не нужно. Токи короткого замыкания рассчитываем для трех точек (К-1, К-2, К-3).

Точка К1—для высоковольтных аппаратов ОРУ-110 кВ. Точка К2—для аппаратов ЗРУ-10 кВ. Точки К2 и К3 электрически одинаковы.

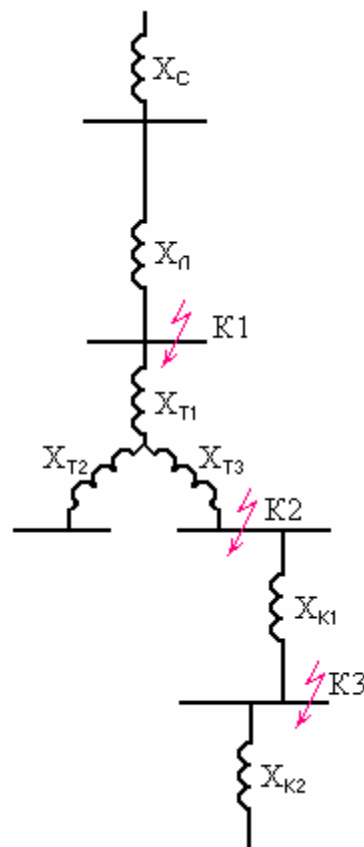


Рисунок 9 – Схема замещения

Исходной схемой является принципиальная однолинейная схема предприятия.

Сведем параметры элементов схемы электроснабжения в таблицы № 18

- 20.

Таблица 18 – Данные системы

$U_c$ , кВ	$S_K$ , МВА
115	880

Таблица 19 – Данные линий

Линия	$X_{уд}$ , Ом/км	$L$ , км	$N$ , шт.
ВЛ	0,40	10	1

Таблица 20 – Данные трансформатора

Трансформатор	$S_N$ , МВА	$U_{вн}$ , кВ	$U_{нн}$ , кВ	$u_{K,min}$ , %	$\Delta U_{РПН}$ , %	$K_p$
T1 – ТРДН–25000/110	25,0	115	11	10,5	16	3,25

Расчет токов К.З. приводим в именованных единицах.

Сопротивление системы:

$$X_C \cong \frac{U_B^2}{S_G} = \frac{115^2}{880} = 15,028 \text{ Ом} \quad (78)$$

где  $U_{CP}$  – среднее номинальное напряжение той ступени, за которой известна мощность  $S_K$ , кВ.

Сопротивление воздушной линии электропередач определим как:

$$x_{ВЛ} = x_{уд} \cdot L, \text{ Ом} \quad (79)$$

$$X_{WЛ} = 0,4 \cdot 10 = 4,0 \text{ (Ом)}.$$

Сопротивление трансформатора определим по формуле:

$$x_{T1} = \frac{u_{K,min} \%}{100} \cdot \left(1 - \frac{K_p}{4}\right) \cdot \frac{U_{min}^2}{S_{H,T}}, \text{ о.е.} \quad (80)$$

$$x_{T2} = \frac{u_{K,min} \%}{100} \cdot \frac{K_p}{2} \cdot \frac{U_{min}^2}{S_{H,T}}, \text{ о.е.} \quad (81)$$

Сопротивление первой и второй ветви схемы замещения трансформатора определим в соответствии с (80) и (81):

$$x_{T1} = \frac{10,5}{100} \cdot \left(1 - \frac{3,25}{4}\right) \cdot \frac{96,58^2}{25} = 7,35 \text{ Ом};$$

$$x_{T2} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{3,25}{2} \cdot \frac{96,58^2}{25} = 63,66 \text{ Ом}.$$

Определяем ток трехфазного КЗ. по формуле:

$$I^{(3)}_{П0} = \frac{U_{CP}}{\sqrt{3} \cdot x_{PE3}}, \quad (82)$$

где  $X_{PE3}$  – результирующее сопротивление до точки КЗ, Ом.

Производим расчет трехфазного тока КЗ для точек К1, К2 и К3:

Для К1:

$$I^{(3)}_{П0К1} = \frac{115000}{\sqrt{3} \cdot (15,028 + 4,00)} = 3,493 \text{ кА};$$

Величина ударного тока в точке К1:

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot I_{П.0}. \quad (83)$$

$$i_{y\delta} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,493 = 8,865 \text{ кА}.$$

Для К2:

$$I^{(3)}_{П0К2,115} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot (15,028 + 4,00 + 7,35 + 63,66)} = 0,738 \text{ кА}$$

Приведем ток к стороне 10 кВ:

$$I^{(3)}_{П0К2,10} = I_{П0К2,115} \cdot \frac{U_{CP} \cdot (1 - \Delta U_{*PIH})}{U_{HH}} = 0,738 \cdot \frac{96,58}{11} = 6,791 \text{ кА}$$

Для К3:

$$I^{(3)}_{П0К3,115} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot (15,028 + 4,00 + 7,35 + 63,66 + 0,02 \cdot \left(\frac{115}{11}\right)^2)} = 0,720 \text{ кА}$$

Ток, приведенный к стороне 10 кВ, составит:

$$I_{\text{ПОК}3,10}^{(3)} = I_{\text{ПОК}3,115} \cdot \frac{U_{\text{CP}} \cdot (1 - \Delta U_{*P111})}{U_{\text{HН}}} = 0,720 \cdot \frac{96,58}{11} = 6,328 \text{ кА}$$

### 3.2 Выбор параметров срабатывания дифференциальной защиты

Выполним расчет номинальных токов стороны ВН и НН трансформатора ГПП, выберем ТТ для защиты, установленные на стороны ВН и НН, и найдем вторичные токи в плечах защиты. Выполненные расчеты сведены в таблицу 21.

ТТ на стороны ВН трансформатора ГПП Т1 нужно выбрать с учетом коэффициента схемы  $K_{\text{сх}} = \sqrt{3}$ .

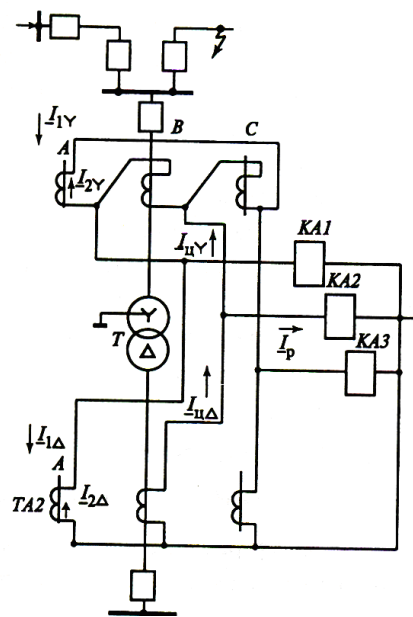


Рисунок 10 – Схема первичных цепей дифференциально-токовой защиты трансформатора ГПП

Таблица 21 – Результаты расчетов исходных величин для дифференциальной защиты

Наименование величин	Численное значение для сторон	
	$U_{ВН}$	$U_{НН}$
Номинальный ток трансформатора, А $I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H}$	$\frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 125,6 A$	$\frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 11} = 657 A =$
Схема соединения трансформаторов тока	Д	У
Коэффициент схемы $k_{сх}$	$\sqrt{3}$	1
Коэффициент трансформации трансформаторов тока $k_I$	$(125,6 \cdot \sqrt{3} = 217,4)$ $\frac{250}{5}$	$\frac{800}{5}$
Вторичные токи в плечах защиты, А $\frac{I_H k_{сх}}{k_I}$	$\frac{125,6 \cdot \sqrt{3}}{250/5} = 4,35 A$	$\frac{657 \cdot 1}{800/5} = 4,1 A$

Первичный ток срабатывания дифференциальной защиты, выполненной на реле РНТ-565, можно определить по двум критериям:

а) отстройка от максимального расчетного тока небаланса в реле при трехфазном внешнем токем КЗ (точка К1 на рисунок 10):

$$I_{с.з} \geq k_{отс} \cdot I_{нб.расч}, \quad (84)$$

где  $k_{отс} = 1,5$ -для РНТ-565 [25].

Расчетный ток небаланса на  $I_{нб.расч}$  рассчитывается из трех составляющих:

$$I_{нб.расч} = I'_{нб.расч} + I''_{нб.расч} + I'''_{нб.расч}. \quad (85)$$

Тока небаланса  $I'_{нб.расч}$  обусловлен погрешностью ТТ. Его находим по выражению:

$$I'_{нб.расч} = k_{анер} \cdot k_{одн} \cdot f_i \cdot I_{к.з \max}, \quad (86)$$

где  $I_{к.з \max}$  – ток трехфазного короткого замыкания в точке К-2, приведенный к напряжению стороны ВН;  $f_i$  – значение тока намагничивания ТТ, равное 0,1;  $k_{одн}$  – коэффициент однотипности, равен 1;  $k_{анер}$  – коэффициент, учитывающий переходный режим, равен 1 для реле РНТ-565.

$$I'_{нб.расч} = 1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 738 = 73,8 \text{ A.}$$

Тока небаланса  $I''_{нб.расч}$ , обусловлен РПН трансформатора. Его находим по выражению:

$$I''_{нб.расч} = \Delta U \cdot I_{K3\max}, \quad (87)$$

где  $\Delta U$  – половина суммарного диапазона регулирования напряжения на трансформаторе (если  $\Delta U_{р.пн} = \pm 16\%$ , то  $\Delta U = 0,16$ ).

$$I''_{нб.расч} = 0,16 \cdot 738 = 118,08 \text{ A.}$$

Рассчитываем  $I_{сз}$  по формуле (87) без учета  $I'''_{нб.расч}$ ;

$$I_{сз} \geq 1,5 \cdot (73,8 + 118,08) = 1,5 \cdot 191,88 = 287,85 \text{ A.}$$

б) по условию отстройки от броска тока намагничивания при включении ненагруженного силового трансформатора:

$$I_{з.с.} \geq k \cdot I_H, \quad (88)$$

где  $k$  - коэффициент отстройки, равен 1,3;  $I_H$  – номинальный ток силового трансформатора стороны ВН.

$$I_{з.с.} \geq 1,3 \cdot 125,6 = 163,28 \text{ A.}$$

По расчетам пп. а) и б) выбираем больший ток срабатывания защиты.

$$I_{сз} = 287,85 \text{ A.}$$

Выполняем предварительную оценку чувствительности защиты:

$$k_{ч} = \frac{I_{к.з}^{(2)}}{I_{сз}} \geq 2. \quad (89)$$

$$k_{ч} = \frac{0,87 \cdot 738}{287,85} = 2,23 \geq 2,$$

Защита на реле типа РНТ-565 по чувствительности проходит.

Величина тока срабатывания основной стороны защиты определяется как:

$$I_{сз.осн} = \frac{I_{сз} \cdot k_{сх}}{k_I}; \quad (90)$$

$$I_{сз.осн} = \frac{287,85 \cdot \sqrt{3}}{250/5} = 9,96 \text{ A}$$

Расчетное число витков обмотки быстронасыщающегося трансформатора для основной стороны определяем по выражению:

$$\omega_{осн.расч} = \frac{F_{CP}}{I_{ср.осн}} = \frac{100}{I_{ср.осн}} = \frac{100}{9,96} = 10,04 \approx 10 \quad (91)$$

В итоге получаем  $\omega_{осн} = 10$  в- ближайшее меньшее количество витков, тогда:

$$I_{с.р. осн.} = \frac{F_{CP}}{\omega_{осн}} = \frac{100}{10} = 10A \quad (92)$$

Расчетное число витков обмотки для стороны НН находим по формуле:

$$w_{неосн.расч.} = w_{осн.} \cdot \frac{I_{осн}}{I_{неосн}} = 10 \cdot \frac{4,35}{4,1} = 10,08 \approx 10 \text{ витков} \quad (93)$$

$I_{осн}$ ,  $I_{неосн}$  - вторичные токи в плечах защиты для стороны ВН и НН.

Полученное значение  $\omega_{неосн.расч}$  округляем до ближайшего меньшего целого значения:  $\omega_{неосн} = 10$ .

Определяем ток небаланса:

$$I'''_{нб.расч} = \frac{\omega_{неосн.расч} - \omega_{неосн}}{\omega_{неосн.расч}} \cdot I_{к.з.макс}, \quad (94)$$

где  $I_{кз макс}$  – ток трехфазного К.З. в точке К1.

$$I'''_{нб.расч} = \frac{10,08 - 10}{10,08} \cdot 738 = 5,8A.$$

$$I_{нб.расч} = 191,88 + 5,8 = 197,73A$$

Рассчитываем  $I_{сз}$  с учетом  $I'''_{нб.расч}$ ,  $K_{отс}=1,3$ ;

$$I_{с.з} \geq 1,3 \cdot 197,73 = 257,0 \leq 287,85A.$$

Коэффициент чувствительности дифференциальной защиты трансформатора определяется по току двухфазного К.З. за трансформатором. С учетом схемы соединения трансформаторов тока и 11 группы силового трансформатора по [3] ток в реле при двухфазном К.З за трансформатором 11

группы определяется по выражению  $I_p = \frac{1,5 \cdot I_{к}^{(3)}}{k_i}$ . Тогда коэффициент

чувствительности:



$$K_{\text{ч}} \geq 1,5 \cdot I_{\text{К.З. min 2}}^{(3)} / (K_{\text{I}} \cdot I_{\text{С.Р.}}) \quad (95)$$

$$K_{\text{ч}} = 1,5 \cdot 738 / (50 \cdot 10) = 2,2 > K_{\text{ч доп}} = 2$$

Выбираем реле типа РНТ-565 с током срабатывания 10 А и устанавливаем число витков на рабочей обмотке 10 витков. Витки уравнивающей обмотки равномерно распределяем по двум обмоткам НН, т.е. по 5 витков (по расчету 10).

По руководящим указаниям к релейной защите трансформаторов мощностью от 25 МВА дополняем защиту чувствительным комплектом на реле ДЗТ-11.

### 3.3 Максимальная токовая защита трансформаторов ГПП

На трансформаторах с расщепленной обмоткой низкого напряжения МТЗ устанавливается и с высокой, и с низкой стороны.

На стороне НН ток срабатывания защиты будет равен:

$$I_{\text{с.з}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{сзн}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (96)$$

где  $k_{\text{отс}}=1,2$  – коэффициент отстройки;  $k_{\text{сзн}}$  – коэффициент самозапуска;  $k_{\text{в}}=0,8 \div 0,85$  – коэффициент возврата;  $I_{\text{раб.макс}}$  – максимальный рабочий ток силового трансформатора с учетом перегрузки после АВР.

Ток самозапуска нагрузки трансформатора – ток трехфазного КЗ за обобщенной нагрузкой трансформатора Т [3]:

$$I_{\text{сзн}} = \frac{U_{\text{ср}} / \sqrt{3}}{(X_{\text{К1}} + X_{\text{ОБ.НАГР.}})} \quad (97)$$

Определим сопротивление обобщенной нагрузки трансформатора Т:

$$X_{\text{ОБ.НАГР.}} = \frac{0,35 \cdot U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{НОМТ}}} = \frac{0,35 \cdot 115000}{\sqrt{3} \cdot 125,6} = 185,23 \text{ Ом}$$

Ток самозапуска нагрузки трансформатора Т1 равен:

$$I_{сзп} = \frac{115000/\sqrt{3}}{(15,028 + 4,0 + 7,35 + 63,66 + 185,23)} = 241,5 A.$$

Тогда коэффициент самозапуска нагрузки трансформатора Т1 равен:

$$k_{сзп} = \frac{I_{сзп}}{I_{НОМ.Т}} = \frac{241,5}{125,6} = 1,92 \quad (98)$$

Определяем ток срабатывания МТЗ трансформатора на стороне НН трансформатора по (97):

$$I_{с.з} = \frac{1,2 \cdot 1,92}{0,85} \cdot 657 = 1783,35 A,$$

Чувствительность МТЗ стороны Н.Н.:

$$k_{ч} = \frac{0,87 \cdot 6791}{1783,35} = 3,3 \geq 1,5$$

Определяем ток срабатывания реле МТЗ низкой стороны трансформатора Т:

$$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot k_{сх}}{k_I} = \frac{1783,35 \cdot 1}{800/5} = 11 A$$

Выбираем реле типа РТ-40/20 с током уставки 11 А.

Ток срабатывания защиты на стороне ВН определяю по условию [3]:

$$I_{с.з.ВН} = K_{н.с} / K_{р} \cdot (I_{с.з.НН} + I_{раб. макс}) / K_{т} \quad (99)$$

где  $K_{н.с}$  – коэффициент надежности согласования, значение которого зависит от точности работы ТТ и реле, точности настройки реле,  $K_{н.с} = 1,3$  ;

$K_{р}$  – коэффициент токораспределения, учитывается при наличии нескольких источников, при одном источнике питания  $K_{р} = 1$  ;

$$I_{с.з.ВН} = (1,3 / 1) \cdot (1783,55 + 657) / \left(\frac{96,6}{11}\right) = 361,28 (A)$$

$$K_{тр-ции} = \frac{U_{ср.ВН} (1 - \Delta U_{*р.НН})}{U_{НН}} = \frac{115 \cdot (1 - 0,16)}{11} = \frac{96,6}{11}.$$

Ток срабатывания реле МТЗ стороны ВН:

$$I_{ср} = \frac{I_{сз} \cdot k_{сх}}{k_I} = \frac{361,28 \cdot \sqrt{3}}{250/5} = 7,2 A$$

Трансформатор 11 группы, поэтому произведем расчет минимального тока в защите при К.З за трансформатором 11 группы при двухфазном К.З за трансформатором [17]:

$$I_p = \frac{1,5 \cdot I_{к2}^{(3)}}{k_I} = \frac{1,5 \cdot 738}{50} = 22,14 \text{ А}$$

Коэффициент чувствительности МТЗ стороны ВН:

$$K_{\text{ч}} = \frac{22,14}{7,2} = 3,07 \geq 1,5$$

что удовлетворяет условию чувствительности.

Выбирается реле типа РТ-40/10 с током уставки 3,07 А.

### 3.4 Защита от перегрузки трансформаторов ГПП

Ток срабатывания защиты от перегрузки выбираем по условию отстройки от номинального тока силового трансформатора стороны НН:

$$I_{\text{с.з.}} \geq \frac{k_{\text{омс}}}{k_{\text{с}}} \cdot I_{\text{ном}} = \frac{1,05}{0,85} \cdot 657 = 811,6 \text{ А},$$

где  $k_{\text{омс}} = 1,05$ . Время срабатывания защиты принимается равным 9с.

### 3.5 Газовая защита трансформатора

В качестве вспомогательной защиты от внутренних повреждений в трансформаторе устанавливается газовым реле. Газы, образуются в результате разложения масла, устремляются в верхнюю часть кожуха реле. Газ вытесняет масло из кожуха и поплавки опускаются [22]. При этом происходит отключение трансформатора и сигнал газовой защиты.

При слабом газообразовании срабатывает только первая ступень газовой защиты с действием на сигнал.

При недопустимом снижении уровня масла также срабатывает первая ступень газовой защиты на сигнал дежурному персоналу.

Для доливки масла в схеме предусматривается накладка, с помощью которой отключают вторую ступень газовой защиты.

Согласно [25] для трансформатора ТРДЦН-25000/110 используем газовое реле типа ВФ-80/Q.

### **Выводы по разделу 3**

В данном разделе рассчитаны токи К.З., далее в соответствии с требованиями ПУЭ для трансформатора ГПП установлены защиты, обеспечивающие выявление повреждений в трансформаторе:

– дифференциальная токовая защита от внутренних К.З. на реле типа ДЗТ-11 и РНТ-565 с  $I_{с.р. осн.} = 10 \text{ А}$ ,  $\omega_{осн.} = 10$ ;  $\omega_1 = 10$ ;  $K_{ч} = 3,11$ .

– МТЗ стороны ВН с пуском по напряжению для выявления внешних КЗ, сопровождающихся недопустимыми для трансформатора токами с  $I_{с.з} = 361,28 \text{ А}$ ,  $t'_{сзт1} = 2,8 \text{ с}$ ,  $K_{ч} = 3,9$ .

– газовая защита с действием на сигнал для выявления повреждений внутри трансформатора;

– МТЗ на стороне НН от перегрузок с  $I_{с.з} = 811,6 \text{ А}$ .

## **4 Разработка мероприятий по электробезопасности на заводе**

### **4.1 Мероприятия по обеспечению электробезопасности на ГПП**

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работ в электроустановках, являются:

- оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск бригады к работе;
- надзор за бригадой в период ее работы;
- оформление перевода на другое место, перерыва работы, окончания работы.

Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ, выполняемых со снятием напряжения.

Для подготовки рабочего места во время работ со снятием напряжения должны быть выполнены следующие технические мероприятия в этом порядке:

А) необходимые для остановки и принятия мер по предотвращению наложения напряжения на место работы в результате неправильного или непреднамеренного включения коммутационного оборудования [13];

Б) вывесить запрещающие плакаты на приводах ручного и на ключах дистанционного управления коммутационной аппаратуры;

В) убедиться в отсутствии напряжения на токоведущих частях, которое должно быть наложено для защиты людей от воздействия электрическим током;

Д) обеспечить предупреждениями, специальными плакатами рабочие места и оставшиеся под электропитанием токоведущие части. В зависимости от условий электрические части отгораживаются до и после заземления.

Специальные средства защиты для работающего персонала необходимы в том случае, когда установка во время их работы не гарантирует обеспечение безопасности. Специальные средства защиты не являются конструктивными элементами электроустановок [30].

Они дополняют заземление, зануление, блокировки, ограждения и другие стационарные защитные устройства.

## **4.2 Расчёт молниезащиты и заземления ГПП**

### **4.2.1 Расчёт молниезащиты ГПП**

Расчет молниезащиты подстанции сводится к определению высоты молниеотводов и построению зоны защиты. Для защиты электрооборудования и сооружений подстанций применяются многократные (3 – 4) стержневые молниеотводы, располагаемые, как правило, на порталах ОРУ и на здании ЗРУ 6 – 10 кВ.

Данный объект по [9] относится к типу зоны защиты А и к I категории устройства молниезащиты. Молниезащиту выполняем четырьмя молниеотводами стержневого типа.

Размер занимаемой территории ГПП – 40x39,5 м<sup>2</sup>.

1. По известным данным  $D$  и  $h_x$  определяем приблизительную высоту молниеотводов по выражению:

$$h \geq \frac{D}{8 \cdot p} + h_x = \frac{43,5}{8 \cdot 1} + 8 \approx 13,4 = 14 \text{ м}, \quad (100)$$

где  $D$  – диагональ прямоугольника, м;  $h_x$  – высота защищаемого объекта, м (принимается равной  $h_x = 8 \text{ м}$ );  $p$  – поправочный коэффициент

зависящий от высоты молниеотвода ( $p=1$  при  $h < 30$  м и  $p=5,5 \cdot \sqrt{h}$  при  $h > 30$  м). Для заводских подстанций  $p=1$ .

2. Определяем высоту зоны защиты  $h_0$  между парами соседних молниеотводов по выражению:

$$h_0 = 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L_{1-2}^2} = 4 \cdot 14 - \sqrt{9 \cdot 14^2 + 0,25 \cdot 35,3^2} = 10,4 \text{ м}, \quad (101)$$

где  $L_{1-2}$  – расстояние между молниеотводом, м;

3. Определяем оптимальная высота молниеотводов по выражению:

$$h_{opt} = 0,571 \cdot h_0 + \sqrt{0,183 \cdot h_0^2 + 0,0357 \cdot L_{1-2}^2} = 0,571 \cdot 10,4 + \sqrt{0,183 \cdot 10,4^2 + 0,0357 \cdot 35,3^2} = 14 \text{ м}. \quad (102)$$

4. Определяем радиус зоны защиты  $r_x$  м, на высоте  $h_x$  каждого молниеотвода по выражению:

$$r_x = 1,5 \cdot (h - 1,25 \cdot h_x) = 1,5 \cdot (14 - 1,25 \cdot 8) = 6 \text{ м}, \text{ т.к. } 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3} h. \quad (103)$$

5. Определяем ширина зоны защиты  $b_x$ , для каждой пары молниеотводов.

Для пары 1-2:

$$b_x = 3 \cdot (h_0 - 1,25 \cdot h_x) = 3 \cdot (10,4 - 1,25 \cdot 8) = 1,32 \text{ м т.к. } 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3} h; \quad (104)$$

Для пары 1-4:

$$h_0 = 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L_{1-4}^2} = 4 \cdot 14 - \sqrt{9 \cdot 14^2 + 0,25 \cdot 19,3^2} = 12,9 \text{ м}; \quad (105)$$

$$b_x = 3 \cdot (h_0 - 1,25 \cdot h_x) = 3 \cdot (12,9 - 1,25 \cdot 8) = 8,72 \text{ м т.к. } 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3} h;$$

Для пары 2-3:

$$h_0 = 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L_{2-3}^2} = 4 \cdot 14 - \sqrt{9 \cdot 14^2 + 0,25 \cdot 33,7^2} = 10,7 \text{ м};$$

$$b_x = 3 \cdot (h_0 - 1,25 \cdot h_x) = 3 \cdot (10,7 - 1,25 \cdot 8) = 2,24 \text{ м т.к. } 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3} h;$$

Для пары 3-4:

$$h_0 = 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L_{3-4}^2} = 4 \cdot 14 - \sqrt{9 \cdot 14^2 + 0,25 \cdot 34,8^2} = 10,5 \text{ м};$$

$$b_x = 3 \cdot (h_0 - 1,25 \cdot h_x) = 3 \cdot (10,5 - 1,25 \cdot 8) = 1,62 \text{ м т.к. } 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3} h.$$

6. По полученным результатам строится внешнюю границу зоны защиты молниеотводов оборудования ГПП.

#### 4.2.2 Расчёт защитного заземления ГПП

Для заземления ГПП в качестве вертикальных заземлителей принимают стальные стержни диаметром  $d = 0,016$  м и длиной  $L_B = 3$  м, которые погружаются в грунт методом ввёртывания. Верхние концы электродов располагаются на глубине 0,7 м от поверхности земли. К ним привариваются стальные полосы сечением 40×4 мм.

Расчет сопротивления заземлителя выполняем в таком порядке:

1. Устанавливается нужное согласно ПУЭ допустимое сопротивление ЗУ  $r_3 = 0,5$ . Если ЗУ является общим для нескольких электроустановок, то расчетным сопротивлением ЗУ является наименьшее из требуемых.

2. Определяют нужное сопротивление искусственного заземлителя с учетом использования естественных заземлителей, включенных параллельно, согласно условия:

$$R_u = \frac{R_e \cdot r_3}{R_e - r_3} = \frac{1,2 \cdot 0,5}{1,2 - 0,5} = 0,857 \text{ Ом}, \quad (106)$$

где  $r_3$  – допустимое сопротивление ЗУ;  $R_u$  – сопротивление искусственного заземлителя;  $R_e$  – сопротивление естественного заземлителя.

3. Определяют расчетное удельное сопротивление грунта  $\rho_{расч}$  с учетом повышающих коэффициентов, учитывающих промерзания грунта зимой и его высыхание летом.

При отсутствии точных данных о грунте можно воспользоваться [10,табл. П14], где указаны средние данные по сопротивлениям грунтов, которые рекомендованы для предварительных расчетов. Для грунта – суглинок 100Ом·м:

$$\rho_{рг} = k_{г} \cdot \rho_{расч} = 1,4 \cdot 100 = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (107)$$



$$\rho_{PB} = k_B \cdot \rho_{расч} = 2 \cdot 100 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (108)$$

где  $k_\Gamma$ ,  $k_B$  – повышающие коэффициенты для различных климатических зон приведенных в [10, табл. П15] для вертикальных и горизонтальных электродов.

4. Определяют сопротивление растекания одного вертикального электрода  $R_{BO}$  по выражению согласно [10, табл. П16]. Эти выражения даны для стержневых электродов из круглой стали или труб:

$$R_{BO} = \frac{\rho_{PB}}{2\pi l} \left( \ln\left(\frac{2l}{d}\right) + \frac{1}{2} \ln\left(\frac{4t+l}{4t-l}\right) \right) = \frac{200}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left( \ln\left(\frac{2 \cdot 3}{0,016}\right) + \frac{1}{2} \ln\left(\frac{4 \cdot 2,3+3}{4 \cdot 2,3-3}\right) \right) = 64,045 \text{ Ом}. \quad (109)$$

5. Определяют примерное количество вертикальных заземлителей  $n$  при предварительном принятом коэффициенте использования  $\eta_B = 0,44$  по [10, табл. П18] (предварительно принимается число электродов 40шт., при соотношении  $a/l = 3/3$ ):

$$n = \frac{R_{BO}}{\eta_B R_u} = \frac{64,045}{0,44 \cdot 0,857} = 169,845 \approx 169 \text{ шт}. \quad (110)$$

6. Определяют сопротивление растекания горизонтальных электродов  $R_\Gamma$  по выражению согласно [10, табл. П16]. Коэффициент использования горизонтальных электродов для предварительно принятого количества вертикальных согласно [10, табл. П20] при расположении вертикальных электродов по контуру  $\eta_\Gamma = 0,19$ :

$$R_\Gamma = \frac{\rho_{P\Gamma}}{2\pi l \eta_\Gamma} \ln\left(\frac{2l}{bt}\right) = \frac{140}{2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 0,19} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 3}{0,004 \cdot 0,7}\right) = 198,479 \text{ Ом}. \quad (111)$$

7. Уточняют нужное сопротивление вертикальных электродов с учетом проводимости горизонтальных соединительных электродов:

$$R_B = \frac{R_\Gamma \cdot R_u}{R_\Gamma - R_u} = \frac{198,479 \cdot 0,857}{198,479 - 0,857} = 0,861 \text{ Ом}. \quad (112)$$

8. Уточняют количество вертикальных электродов с учетом коэффициентов использования согласно [10, табл. П18] и выражению  $\eta_B = 0,39$ :

$$n = \frac{R_{BO}}{\eta_B R_B} = \frac{64,045}{0,39 \cdot 0,861} = 190,729 \approx 190 \text{ шт}. \quad (113)$$

### 4.3 Пожаро- и взрывобезопасность

Машинные залы проектируемой установки относятся к пожароопасной зоне П-I - зона, расположенных в помещении, в которых имеются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61<sup>0</sup>С.

По классу взрывоопасности установка ЦВК относится к классу В-Ia, в которой взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей [4].

Для устранения вышеуказанных причин пожаров и взрывов на заводах предусмотрена следующая деятельность:

- использование металлических конструкций цехов в качестве молниеотводов и установка на ГПП стержневых молниеотводов;
- для защиты от токов КЗ применяется МТЗ, от перегрузок - тепловые расцепители автоматов и тепловые реле;
- применяется газовая защита трансформаторов, температурные датчики и т.д.

Машинные залы оснащаем автоматическими сигнализациями.

На ГПП и в каждом производственном цеху должны находиться первичные устройства пожаротушения:

- углеродно - бромэтиловые и углеродные огнетушители;
- ящики с песком;
- лопаты, вёдра и прочее.

На предприятии устанавливаем дымовые сигнализаторы (ссылку), которые позволяют вам вызвать пожарную команду. В ГПП и ЗРУ устанавливают пожарные извещатели.

Следует отметить, что предприятие помимо технических средств для обеспечения пожарной безопасности, достойно рассмотрения и организационной деятельности: подготовка работников и работников правил пожарной безопасности, инструкции по работе с огневыми опасностями

веществ и материалов, изготовление и применение визуального возбуждения для того, чтобы обеспечить пожаробезопасность.

Взрывобезопасность обеспечивается за счет использования взрывозащищенного оборудования.

#### **Выводы по разделу 4**

В четвертом разделе дипломной работы выполнен расчет заземления ГПП и составлена схема заземления.

В качестве вертикальных электродов выбрана сталь круглая длиной 5 м и диаметром 14 мм.

В качестве горизонтальных электродов применяется полосовая сталь сечением 4х40 мм.

В разделе также рассмотрены мероприятия по охране труда и пожарной безопасности на предприятии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа представляет собой полную и систематическую архитектуру электроснабжения машиностроительного завода, охватывающую как электрическую часть, так и вопросы эксплуатационной безопасности труда.

На основании технико-экономических расчетов производился выбор:

- экономически и технически обоснованного количества, мощности и режима работ силовых трансформаторов ГПП и цеховых ТП;
- токоведущих устройств и электрических аппаратов;
- сечений жил кабелей и проводов;
- целесообразной мощности трансформатора СН и их числа;
- способов прокладки и трасс электрических сетей с учетом коммуникаций энергохозяйства завода;
- экономически и технически целесообразных средств КРМ.

В цеховых сетях 0,4 кВ установлены защитные аппараты, обеспечивающие выявление повреждений в линиях, питающих щитовое оборудование и электроприемники:

- токовая отсечка для выявления коротких замыканий;
- токовая защита от перегрузок

В качестве защитных аппаратов выбран выключатель серии ВА.

Выключатели проверены на устойчивость к токам К.З., а также построена карта селективности.

Предусмотрена компенсация реактивной мощности в цехах на 0,4 кВ и на ГПП на 10 кВ.

В соответствии с требованиями ПУЭ для трансформатора ГПП установлены защиты, обеспечивающие выявление повреждений в трансформаторе:

- дифференциальная токовая защита от внутренних К.З. на реле типа ДЗТ-11 и РНТ-565 с  $I_{с.р. осн.} = 10 \text{ А}$   $\omega_{осн.} = 10$ ;  $\omega_1 = 10$ ;  $K_{ч} = 3,11$ .

– МТЗ стороны ВН с пуском по напряжению для выявления внешних К.З., сопровождающихся недопустимыми для трансформатора токами с  $I_{c.з} = 361,28A$ ,  $t'_{сзт1} = 2,8$  с,  $K_{ч} = 3,9$ .

– газовая защита с действием на сигнал для выявления повреждений внутри трансформатора;

– МТЗ на стороне НН от перегрузок с  $I_{c.з} = 811,6A$ .

В работе также выполнен расчет заземления ГПП и составлена схема заземления. В качестве вертикальных электродов выбраны прутки круглой стали длиной 5м и диаметром 14 мм. В качестве горизонтальных электродов предложено использовать полосовую сталь сечением 4х40 мм. Разработаны мероприятия условия по охране труда шинопроводы и пожарной безопасности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 N 35-ФЗ
2. Приказ Минэнерго России от 13.01.2003 N 6 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» (Зарегистрировано в Минюсте России 22.01.2003 N 4145)
3. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок от 24.07.2013 N 328н.
4. Правила устройства электроустановок. 7-ое изд., переработанное и дополненное. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 692 с.
5. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей.
6. СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий.
7. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, И. М. Фадин, В. Н. Сидоров – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд., 2012. – 448 с.: ил.
8. Техническое описание КЛВБЕ 674833. ООО «КРУЭЛТА» Комплектные трансформаторные подстанции модульные типа СКР мощностью до 2500кВА, на номинальное напряжение 6(10)/0,4кВ. 2017.
9. Кудрин Б. И. Электроснабжение: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Б. И. Кудрин. — М.: Издательский центр Академия, 2016. — 2-е изд., перераб. и доп. — 352 с.
10. Сборник технической информации для проектирования. Выпуск 3. Комплектные трансформаторные и распределительные подстанции блочные в железобетонной оболочке. Трансформер. 2018.
11. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. Под ред. Рокотян С.С. и Шапиро И.М. – 3-е изд. М.: Энергоатомиздат, 2005 г. – 352 с.

12. Электротехнический справочник: В3 т. Т.3. 2 кн. Кн. 1. Производство и распределение электрической энергии/ Под общ. ред. профессоров МЭИ. М.: Энергоатомиздат, 2008 г.

13. Каталог продукции. Кабели. УНКОМТЕХ. 2016.

14. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений и промышленных коммуникаций. /Базелян Э.М., Берлина Н.С., Борисов Р.К., Колечицкий Е.Г., Максимов, Б.К., Портнов Э.Л., Соколов С.А., Хлапов А.В. – М.: Издательство МЭИ, 2015. - 82 с.

15. Техническая информация. Устройства комплектные распределительные серии «Nexima». Ишлейский завод высоковольтной аппаратуры.

16. Компоненты и технологии №8. Новая технология Unicore для изготовления магнитопроводов. 2017.

17. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое руководство для курсового проектирования. – М.:ФОРУМ:ИНФРА—М, 2015.—214 стр.

18. Шеховцов В.П. Справочник – пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. - Обнинск, 2014.

19. Шабад М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 2009. 296 с.

20. Конюхова Е.А.: Электроснабжение. учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. — М. : Издательский дом МЭИ, 2018. –3-е изд., перераб. и доп. —428 с

21. Опылева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: Учебное пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2014. –480с.

22. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования. Учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений/ И.П. Крючков, Б.Н. Неклепаев, В.А. Старшинов и др. – М.: Издательский центр «Академия». 2017 – 416с.

23. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий:

учебник для студентов высших учебных заведений. Второе издание – М.: Интернет Инжиниринг. 2016 – 672 ст.

24. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т., Т2. Электрооборудование / Под общ. ред. А.А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 2007.

25. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2011.

26. Охрана труда и окружающей среды: учеб.-метод. пособие / С.А. Сингеев, Б.М. Маврин, А.А. Прозоров. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2018. - 56 с.

27. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М.: НЦ ЭНАС, 2013. 304 с.

28. ГОСТ 12.1.019-85 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» (Дата введения 1985.10.01).

29. ГОСТ 12.1.030-88 «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» (Дата введения 1988.01.01).

30. ГОСТ 12.1.004-94 «Пожарная безопасность. Общие требования» (Дата введения 1994.01.01).

31. СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений».

32. РД 34.213122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений».