



## АННОТАЦИЯ

В выпускной квалификационной работе выполнен проект электроснабжения трубопрокатного завода. Проведены расчеты электрических нагрузок, произведен выбор силовых трансформаторов ЦТП и ГПП, кабелей, электрических аппаратов, произведены расчеты токов короткого замыкания, выбраны напряжения внешнего и внутреннего электроснабжения завода, выбраны места расположения ГПП и ЦТП.

Выпускная квалификационная работа состоит из текстовой и графической части. Текстовая часть представлена в виде пояснительной записки, выполненной на 55 страницах, содержит 16 таблиц, 9 рисунков. Список использованных источников включает в себя 25 наименований, в том числе 5 - на английском языке.

Графическая часть выполнена в виде 6 чертежей формата А1.

## ABSTRACT

This graduation work deals with the construction of the electric power supply system of the tube-rolling enterprise.

The aim of the work is design efficient electric power supply system for tube-rolling enterprise.

The object of the graduation work is tube-rolling enterprise.

The subject of the graduation work is the electric power supply system of tube-rolling enterprise.

We first made the calculations of electric power loads for the enterprise and the results gives us the opportunity to select power transformers for distribution grid of the enterprise. We also choose distribution transformers for each floor of the enterprise. The short-circuit currents in the distribution power grid of the enterprise were calculated. The results of short-circuit currents calculations gives the opportunity to select all electrical equipment which must be installed in the electric power system enterprise.

To find out the wright substation position on the territory of tube-rolling enterprise we calculate the electrical cell, so the main substation must be installed there.

Also for the distribution power grid of the enterprise power cables were selected. Each floor substation connected to the main substation of the enterprise by power cables.

The result of graduation work is the project of the electric power supply system of the tube-rolling enterprise, which has all indications of steady system. The graphic part of the graduation work consist of the electrical schemes, plan of the electric power grid, substation plan and equipment specifications.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Краткая характеристика объекта.....	6
2 Расчет электрических нагрузок группы цехов трубопрокатного завода .....	7
2.1 Определение расчетных электрических нагрузок.....	7
2.2 Расчет картограммы электрических нагрузок .....	12
3 Выбор напряжения внутризаводской системы электроснабжения .....	14
4 Выбор цеховых трансформаторов и средств компенсации реактивной мощности.....	15
5 Выбор напряжения внешнего электроснабжения и трансформаторов ГПП22	
6 Выбор схемы электроснабжения предприятия и расчет сечения питающих линий .....	25
7 Расчет токов короткого замыкания .....	30
8 Выбор электрооборудования .....	37
8.1 Выбор выключателей.....	37
8.2 Выбор измерительных трансформаторов.....	41
8.3 Выбор разъединителей .....	46
8.4 Выбор предохранителей.....	46
8.5 Выбор ошиновки для ОРУ 35 кВ ГПП .....	47
8.6 Выбор КРУ 6 кВ для ГПП и РП.....	49
8.7 Выбор ЦТП 10 кВ .....	49
9 Монтаж электрооборудования.....	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	54

## ВВЕДЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование системы электроснабжения группы цехов трубопрокатного завода. Данный завод расположен на средней Волге.

В выпускной квалификационной работе планируется следующее:

- Рассчитать электрические нагрузки рассматриваемого предприятия;
- Произвести выбор напряжения внутризаводской системы электроснабжения;
- Произвести выбор трансформаторов для цеховых трансформаторных подстанций;
- Произвести выбор напряжения внешнего электроснабжения рассматриваемого предприятия;
- Произвести выбор трансформаторов главной понизительной подстанции рассматриваемого предприятия;
- Произвести выбор кабелей для линий внутризаводского электроснабжения;
- Выполнить расчет токов короткого замыкания;
- Произвести выбор электрооборудования.

Планируется выполнить графическую часть выпускной квалификационной работы, включающую в себя 6 чертежей формата А1: генеральный план предприятия, схема электроснабжения группы цехов трубопрокатного завода от ГПП, схема электроснабжения группы цехов трубопрокатного завода от РП-1, принципиальная схема РП-1, план прокладки кабельных линий и расположения цеховых трансформаторных подстанций, картограмма электрических нагрузок.

## 1 Краткая характеристика объекта

Объектом проектирования является группа цехов трубопрокатного завода, данный завод расположен на средней Волге. Завод относится к отрасли металлообработки и занимается производством стальных труб различных диаметров для трубопроводов теплоснабжения, холодной воды, газопроводов и нефтепроводов, труб для химической промышленности и т.п.

Как потребителя электроэнергии данную группу цехов завода можно отнести ко второй категории по надежности электроснабжения. В отношении объемов потребляемой электроэнергии данная группа цехов завода не относится к крупным энергоемким потребителям электроэнергии.

На рисунке 1 приведен генеральный план группы цехов трубопрокатного завода.

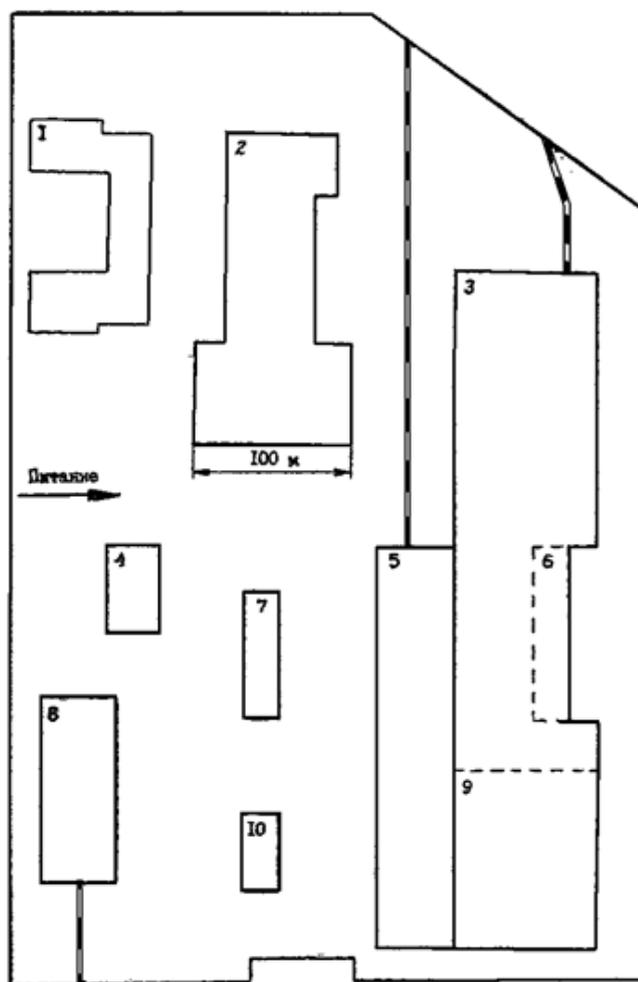


Рисунок 1 - Генеральный план группы цехов трубопрокатного завода

## 2 Расчет электрических нагрузок группы цехов трубопрокатного завода

### 2.1 Определение расчетных электрических нагрузок

Расчет электрических нагрузок проводится для выбора цеховых трансформаторов, трансформаторов главной понизительной подстанции (ГПП) промышленного предприятия, определения сечения кабельных линий, питающих цеховые трансформаторы и высоковольтные электроприемники.

В таблице 2.1 приведены исходные данные по всем группы цехов трубопрокатного завода электроприемникам (ЭП) получающим питание от цеховых трансформаторных подстанций, в таблице 2.2 предоставлены исходные данные по высоковольтным электроприемникам.

Таблица 2.1 - Исходные данные по низковольтным электроприемникам

№ п/п	Наименование цеха, отделения, участка	Установленная мощность $P_H$ электроприемников напряжением 0,4кВ, кВт	Приведенное число электроприемников, $n_3$
1	Оранжерея	495	6
2	Центральная заводская лаборатория	1325	23
3	Трубопрокатный цех №1	3570	71
4	Ремонтно-механический цех	399	27
5	Бытовые и цех КИП	305	9
6	Водонасосная	1910	59
7	Гараж	405	7
8	Трубопрокатный цех №2	8400	40
9	Трубопрокатный цех №3	1960	21
10	Транспортный цех	205	9

Таблица 2.2 - Данные по высоковольтным электроприемникам

№ п/п	Наименование цеха, отделения, участка	Вид высоковольтных электроприемников	Установленная мощность одного электроприемника, кВт	Кол-во электроприемников	Напряжение электроприемников, кВ
8	Трубопрокатный цех №2	Синхронные ЭД	4000	4	10
9	Трубопрокатный цех №3	Синхронные ЭД	1600	4	10

Необходимо выполнить расчет электрических нагрузок по методике представленной в [1] и [2].

Сначала рассчитываем нагрузки ЭП 0,4 кВ питающихся от ЦТП.

Необходимо определить среднюю активную нагрузку каждого цеха группы по выражению (2.1):

$$P_c = K_{и} \cdot P_n \quad (2.1)$$

где  $P_c$  – средняя активная нагрузка цеха, кВт;

$K_{и}$  – средний коэффициент использования, принимается в соответствии с [3];

$P_n$  – номинальная мощность всех электроприемников рассматриваемого цеха.

Рассчитаем среднюю активную нагрузку трубопрокатного цеха №1 завода по (2.1):

$$P_c = 0,68 \cdot 3570 = 2427 \text{ кВт.}$$

Определим среднюю реактивную нагрузку каждого цеха группы по выражению (2.2):

$$Q_c = K_{и} \cdot P_n \cdot \text{tg}\varphi \quad (2.2)$$

где  $Q_c$  – средняя реактивная нагрузка цеха, квар;  
 $\text{tg}\varphi$  – коэффициент реактивной нагрузки.

Рассчитаем среднюю реактивную нагрузку трубопрокатного цеха №1 завода по (2.2):

$$Q_c = 0,68 \cdot 3570 \cdot 1,48 = 3592 \text{ квар.}$$

Далее определяем расчетную активную нагрузку цеха группы по выражению (2.3):

$$P_p = K_p \cdot P_c \quad (2.3)$$

где  $P_p$  – расчетная активная нагрузка цеха, кВт;

$K_p$  – коэффициент расчетной нагрузки, определяется по справочным таблицам в соответствии с [3].

Рассчитаем расчетную активную нагрузку трубопрокатного цеха №1 завода по (2.3):

$$P_p = 0,8 \cdot 2427 = 1941 \text{ кВт.}$$

Определяем расчетную реактивную нагрузку цеха группы по выражению (2.4):

$$Q_p = K_p \cdot Q_c \quad (2.4)$$

где  $Q_p$  – расчетная реактивную нагрузку цеха, квар.

Рассчитаем расчетную реактивную нагрузку трубопрокатного цеха №1 завода по (2.4):

$$Q_p = 0,8 \cdot 3592 = 2873 \text{ квар.}$$

Теперь необходимо определить полную расчетную мощность цеха группы по выражению (2.5):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (2.5)$$

где  $S_p$  – полная расчетная мощность, кВа.

Определим полную расчетную мощность трубопрокатного цеха №1 по (2.5):

$$S_p = \sqrt{1941^2 + 2873^2} = 3467 \text{ кВа.}$$

Теперь нужно определить ток на шинах ЦТП по выражению (2.6):

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (2.6)$$

Рассчитаем ток на шинах ЦТП по (2.6):

$$I_p = \frac{3467}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 5010 \text{ А.}$$

Расчет электрических нагрузок других цехов группы производится аналогично. Полученные в результате расчета данные сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Данные по электрическим нагрузкам цехов

№	Наименование цеха, отделения, участка	Расчетная активная нагрузка, кВт	Расчетная реактивная нагрузка, квар	Расчетная полная нагрузка, кВА	Ток на шинах, А
1	Оранжерея	300	141	331	478
2	Центральная заводская лаборатория	822	559	994	1436
3	Трубопрокатный цех №1	1941	2873	3467	5010
4	Ремонтно-механический цех	244	151	287	414
5	Бытовые и цех КИП	186	100	211	304
6	Водонасосная	1344	1048	1665	1941
7	Гараж	207	99	229	299
8	Трубопрокатный цех №2	4368	5984	7408	10693
9	Трубопрокатный цех №3	1019	1396	1728	2495
10	Транспортный цех	101	54	115	166
11	Освещение завода	102	0	102	147
Итого		10334	12364	16537	

Далее выполним расчет электрических нагрузок высоковольтных

электроприемников группы цехов. Высоковольтными ЭП являются электродвигатели напряжением 10 кВ установленные в трубопрокатных цехах №2 и №3.

Необходимо определить среднюю активную нагрузку каждого высоковольтного ЭП по выражению (2.7):

$$P_c = K_3 \cdot P_n \quad (2.7)$$

где  $K_3$  – коэффициент загрузки электродвигателя.

Рассчитаем среднюю активную нагрузку каждого высоковольтного ЭП по (2.7):

$$P_c = 0,84 \cdot 4000 = 3360 \text{ кВт}$$

Теперь определим расчетную активную мощность электродвигателей трубопрокатных цехов по (2.3):

$$P_p = 3360 \cdot 0,95 = 3192 \text{ кВт.}$$

Теперь определим среднюю реактивную нагрузку по выражению (2.8):

$$Q_c = K_3 \cdot P_n \cdot \operatorname{tg}\varphi \quad (2.8)$$

Рассчитаем среднюю реактивную нагрузку по (2.8):

$$Q_c = 0,84 \cdot 4000 \cdot 0,56 = 1881 \text{ квар.}$$

Определим расчетную реактивную мощность электродвигателей трубопрокатных цехов по (2.4):

$$Q_p = 1881 \cdot 0,95 = 1787 \text{ квар.}$$

Определим полную мощность электродвигателей компрессорной по (2.5):

$$S_p = \sqrt{3192^2 + 1787^2} = 3658 \text{ кВА.}$$

Определяем ток на шинах распределительного пункта (РП) от которого запитаны электродвигатели по (2.6):

$$I_p = \frac{3658}{3 \cdot 10} = 211 \text{ А.}$$

## 2.2 Расчет картограммы электрических нагрузок

Определим радиус окружности центра электрических нагрузок группы цехов по выражению (2.7):

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{Pi}}{\pi m}} \quad (2.7)$$

где  $R_i$  – радиус окружности центра электрических нагрузок, м;

Рассчитываем радиус окружности центра электрических нагрузок трубопрокатного цеха №1 по (2.7):

$$R_i = \frac{\sqrt{1941}}{3,14} = 618$$

Центры электрических нагрузок других цехов группы определяются аналогично.

Выполним расчет центра электрических нагрузок предприятия по выражению (2.8):

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Pi} X_i}{\sum_{i=1}^n P_{Pi}}; \quad Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Pi} Y_i}{\sum_{i=1}^n P_{Pi}}, \quad (2.8)$$

где  $X_0, Y_0$  – координаты центра электрических нагрузок, м.

Определим центр электрических нагрузок завода ЖБИ по (2.8):

$$X_0 = \frac{1849000}{10334} = 178 \text{ м} \quad Y_0 = \frac{2323200}{10334} = 224 \text{ м}$$

По расчету разместить ГПП возможно в точке, показанной на рисунке

2.

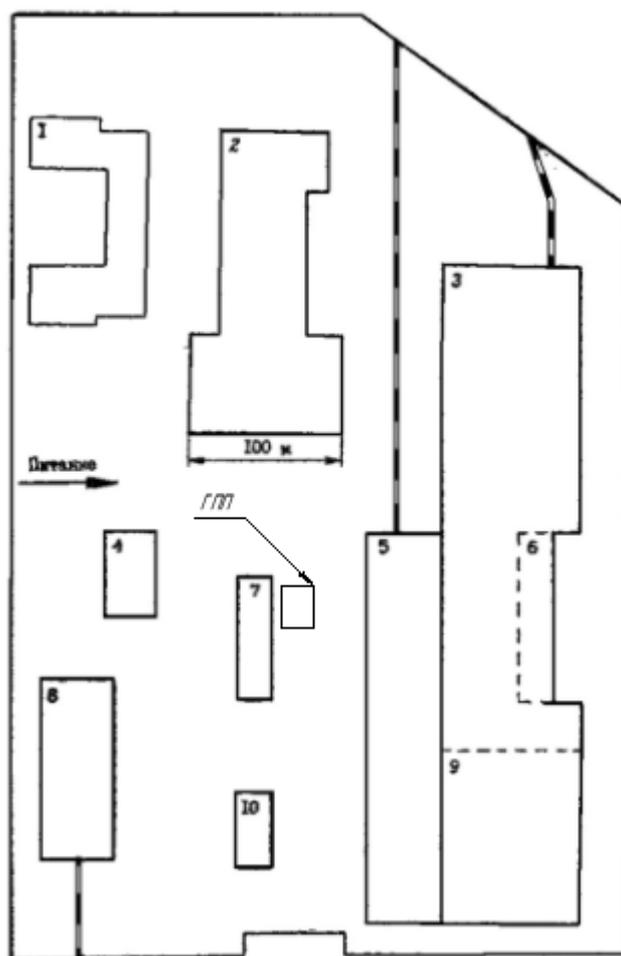


Рисунок 2 – Размещение ГПП на территории трубопрокатного завода

### **3 Выбор напряжения внутризаводской системы электроснабжения**

Выбор напряжения внутризаводской системы электроснабжения производится в соответствии с рекомендациями, приведенными в [4].

При выборе напряжения внутризаводской системы электроснабжения наибольшее влияние имеет наличие высоковольтных ЭП, например, таких как высоковольтные электродвигатели. На трубопрокатном заводе имеется 8 высоковольтных электродвигателей установленных в трубопрокатных цехах №2 и №3, напряжение электродвигателей составляет 10 кВ. Исходя из этого, выбираем напряжение внутризаводской системы электроснабжения 10 кВ.

#### 4 Выбор цеховых трансформаторов и средств компенсации реактивной мощности

Цеховые трансформаторы являются источниками питания для ЭП 0,4 кВ цехов промышленных предприятий. Такие трансформаторы, как правило, установлены на ЦТП, имеют распределительное устройство низкого напряжения (РУНН) и не имеют распределительного устройства высокого напряжения (РУВН). При магистральной схеме распределения электроэнергии на стороне ВН устанавливается разъединитель и предохранители, при радиальном питании выполняется глухое присоединение питающего кабеля к трансформатору. Могут быть одно-, двух- и трехтрансформаторными, это зависит от требований к надежности электроснабжения.

Компенсация реактивной мощности (КРМ) на промышленных предприятиях необходима для регулирования напряжения и для снижения потерь электроэнергии в сети. КРМ может выполняться при помощи батарей статических конденсаторов, синхронных компенсаторов, синхронных электродвигателей. При расчетах следует использовать методику приведенную [5].

Определим число ЦТП для трубопрокатного цеха №1 по выражению (4.1):

$$N = \frac{P_p}{k_3 \cdot S_T} \quad (4.1)$$

где  $N$  – число ЦТП;

$S_T$  – Полная мощность цехового трансформатора, кВА;

$P_p$  – расчетная активная мощность потребляемая цехом, кВт;

$k_3$  – коэффициент загрузки, в данном проектировании принимается равным 0,7;

Рассчитаем число ЦТП для трубопрокатного цеха №1 по (4.1):

$$N = \frac{1941}{0,7 \cdot 1000} = 2,77$$

Принимаем для трубопрокатного цеха №1 число ЦТП равное 3 с трансформаторами типа ТМГ-1000/10.

Необходимо определить потери активной и реактивной мощности в трансформаторах ЦТП по выражениям (4.2) и (4.3):

$$\Delta P_T = N_T \cdot (\Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}) \quad (4.2)$$

где  $\Delta P_T$  – потери активной мощности в трансформаторах, кВт;

$\Delta P_{xx}$  – активные потери холостого хода, кВт;

$\Delta P_{кз}$  – активные потери короткого замыкания, кВт;

$U_{кз}$  – напряжение короткого замыкания, %;

$i_0$  – ток холостого хода, %.

$$\Delta Q_T = N_T \cdot (i_0 + K_3^2 \cdot U_{кз}) \cdot \frac{S_T}{100} \quad (4.3)$$

где  $\Delta Q_T$  – потери реактивной мощности в трансформаторах, квар;

Определим потери активной мощности в трансформаторах ЦТП по (4.2):

$$\Delta P_T = 2 \cdot (1,47 + 0,7^2 \cdot 12,2) = 14,8 \text{ кВт.}$$

Теперь определим потери реактивной мощности в трансформаторах ЦТП по (4.3):

$$\Delta Q_T = 2 \cdot (0,8 + 0,7^2 \cdot 5,5) \cdot \frac{1000}{100} = 69,9 \text{ квар.}$$

Определим активную мощность потребляемую цехом учитывая потери в трансформаторах ЦТП по выражениям (4.4) и (4.5):

$$P_{p\Sigma} = P_p + \Delta P_T \quad (4.4)$$

где  $P_{p\Sigma}$  – активная мощность, потребляемая цехом учитывая потери в трансформаторах ЦТП, кВт.

$$Q_{p\Sigma} = Q_p + \Delta Q_T \quad (4.5)$$

где  $Q_{p\Sigma}$  – реактивная мощность потребляемая цехом учитывая потери в трансформаторах ЦТП, кВт.

Рассчитываем активную мощность потребляемую трубопрокатным цехом №1 с учетом потерь в трансформаторах ЦТП по (4.4):

$$P_{p\Sigma} = 1941 + 44 = 1985 \text{ кВт.}$$

Теперь рассчитываем активную мощность потребляемую трубопрокатным цехом №1 с учетом потерь в трансформаторах ЦТП по (4.5):

$$Q_{p\Sigma} = 2873 + 207 = 3080 \text{ квар.}$$

Теперь определим реактивную мощность, которая может быть передана из сети 10 кВ завода в сеть 0,4 кВ цеха по выражению (4.6):

$$Q_T = \sqrt{(1,1 \cdot S_T \cdot K_3 \cdot N_T)^2 - P_{p\Sigma}} \quad (4.6)$$

где  $Q_T$  – реактивная мощность, передающаяся из сети 10 кВ завода в сеть 0,4 кВ цеха, квар.

Рассчитываем реактивную мощность, которая может быть передана из сети 10 кВ трубопрокатного завода в сеть 0,4 кВ трубопрокатного цеха №1 по (4.6):

$$Q_T = \sqrt{(1,1 \cdot 3000 \cdot 0,7 \cdot 2)^2 - 1985} = 4619 \text{ квар.}$$

Определим реактивную мощность, которую способны выдавать статические конденсаторные батареи по выражению (4.7):

$$Q_{нк} = Q_{p\Sigma} - Q_T \quad (4.7)$$

где  $Q_{нк}$  – необходимая реактивная мощность статических батарей конденсаторов, квар.

$$Q_{\text{нк}}=3080-4619=-1539 \text{ квар}$$

Установка батарей конденсаторов для данного цеха не требуется.

Определим число часов максимальных потерь в сети цеха по выражению (4.8):

$$\tau=(0,124+\frac{T_M}{10000})^2 \cdot T_p \quad (4.8)$$

где  $\tau$  – число часов максимальных потерь в сети, ч;

$T_p$  – число часов работы трансформатора, ч.

Определяем число часов максимальных потерь в сети трубопрокатного цеха №1 по (4.8):

$$\tau=(0,124+\frac{3500}{10000})^2 \cdot 8760=1968 \text{ ч.}$$

Определим стоимость максимальных потерь активной мощности за год в сети по выражению (4.9):

$$C=(\frac{\alpha}{T_M}+\beta \cdot 10^{-2}) \cdot \tau \quad (4.9)$$

где  $C$  – стоимость максимальных потерь активной мощности в сети, руб/кВт.

Определяем стоимость максимальных потерь активной мощности в сети по (4.9):

$$C=(\frac{5000}{3500}+1,1 \cdot 10^{-2}) \cdot 1968=2,8 \text{ тыс. руб/кВт}$$

Определим удельную стоимость потерь холостого хода трансформатора ЦТП по формуле (4.10):

$$C_0=(\frac{\alpha}{T_M}+\beta \cdot 10^{-2}) \cdot T_p \quad (4.10)$$

где  $C_0$  - удельная стоимость потерь холостого хода трансформатора, руб/кВт.

Определяем стоимость потерь холостого хода трансформатора ЦТП котельной по (4.10):

$$C_0 = \left( \frac{5000}{3500} + 1,1 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 8760 = 12,6 \text{ тыс. руб/кВт}$$

Определим стоимость потерь активной мощности в трансформаторах ЦТП по выражению (4.11):

$$C \cdot \Delta P_T = N_T \cdot (C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}) \quad (4.11)$$

где  $C \cdot \Delta P_T$  – стоимость потерь активной мощности в трансформаторах, руб/кВт.

Определяем стоимость потерь активной мощности в трансформаторах ЦТП трубопрокатного цеха №1 по (4.11):

$$C \cdot \Delta P_T = 2 \cdot (12,6 \cdot 1,47 + 2,8 \cdot 0,7^2 \cdot 12,2) = 70,52 \text{ руб/кВт.}$$

Определим финансовые затраты на сооружение комплектной трансформаторной подстанции по выражению (4.12):

$$Z_{кТП} = E \cdot (N_T \cdot K_T + N_K \cdot K_{кв}) \cdot C \cdot \Delta P_T \quad (4.12)$$

где  $Z_{кТП}$  – затраты на КТП, тыс. руб.;

$E$  – суммарный коэффициент отчислений от капиталовложений;

$K_T$  – стоимость трансформатора для ЦТП, тыс. руб.;

$N_K$  – число батарей конденсаторов, шт.;

$K_{кв}$  – стоимость конденсаторных батарей, тыс. руб.

Рассчитываем финансовые затраты на сооружение комплектной трансформаторной подстанции по (4.12):

$$Z_{кТП} = 0,338 \cdot (2 \cdot 992) + 70,52 = 741,11 \text{ тыс. руб.}$$

Выбор остальных трансформаторов для остальных ЦТП производится аналогично. Результаты выбора трансформаторов для ЦТП приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты выбора трансформаторов ЦТП

№ ТП	Место установки	Тип трансформатора	Тип БСК	Приведенные затраты, тыс. руб.
1	Оранжерея	ТМГ-250/10х2	нет	303,12
2	Центральная заводская лаборатория	ТМГ-630/10х2	нет	554,02
3	Трубопрокатный цех №1	ТМГ-1000/10х2	нет	741,11
4	Трубопрокатный цех №1	ТМГ-1000/10х2	нет	741,11
5	Трубопрокатный цех №1	ТМГ-1000/10х2	нет	741,11
6	Ремонтно-механический цех	ТМГ-250/10х2	нет	303,12
7	Бытовые и цех КИП	ТМГ-160/10х2	нет	198,55
8	Водонасосная	ТМГ-1000/10х2	нет	741,11
9	Гараж	ТМГ-160/10х2	нет	198,55
10	Трубопрокатный цех №2	ТМГ-1600/10х2	нет	988,11
11	Трубопрокатный цех №2	ТМГ-1600/10х2	нет	988,11
12	Трубопрокатный цех №2	ТМГ-1600/10х2	нет	988,11
13	Трубопрокатный цех №2	ТМГ-1600/10х2	нет	988,11
14	Трубопрокатный цех №2	ТМГ-1600/10х2	нет	988,11

Продолжение таблицы 4.1

15	Трубопрокатный цех №3	ТМГ-1000/10х2	нет	741,11
16	Транспортный цех	ТМГ-160/10х2	нет	198,55

## 5 Выбор напряжения внешнего электроснабжения и трансформаторов ГПП

ГПП является источником питания для ЦТП и высоковольтных ЭП. Обычно ГПП могут выполняться на напряжение 35-220 кВ, в зависимости от мощности промышленного предприятия. Небольшие предприятия имеют как правило, одну ГПП, крупные промышленные предприятия могут иметь две, а реже 3 ГПП, особо крупные промышленные предприятия могут иметь 3 и более ГПП. Размещается ГПП вблизи центра электрических нагрузок.

Разновидностью ГПП является подстанция глубокого ввода (ПГВ). ПГВ не имеют распределительного устройства на стороне высшего напряжения и размещается возле наиболее энергоемкого цеха.

Проведем выбор напряжения ГПП промышленного предприятия по выражению (5.1):

$$U_{\text{рац}} = 4,34 \sqrt{L_i + 0,0016 \cdot P_{\text{рп}}} \quad (5.1)$$

где  $U_{\text{рац}}$  – рациональное напряжение питания ГПП, кВ;

$L_i$  – длина питающей линии, км;

$P_{\text{рп}}$  – расчетная нагрузка промышленного предприятия, кВт.

Рассчитаем максимальную активную нагрузку предприятия по выражению (5.2):

$$P_{\text{рп}} = P_{\text{рн}} + P_{\text{рв}} + P_{\text{осв}} + \Sigma P_{\Delta \text{тр}} \quad (5.2)$$

где  $P_{\text{рп}}$  – максимальная активная нагрузка промышленного предприятия, кВт;

$P_{\text{рн}}$  – расчетная активная нагрузка ЭП 0,4 кВ, кВт;

$P_{\text{рв}}$  – расчетная активная нагрузка ЭП 10 кВ, кВт;

$\Sigma P_{\Delta \text{тр}}$  – расчетные суммарные потери в трансформаторах ЦТП, кВт

Рассчитываем максимальную нагрузку завода ЖБИ по (5.2):

$$P_{\text{рп}} = 10232 + 18588 + 102 + 177 = 29099 \text{ кВт.}$$

Теперь определим рациональное напряжение питания ГПП по выражению (5.1):

$$U_{\text{рац}}=4,34 \sqrt{1,2 + 0,0016 \cdot 29099}=29,9 \text{ кВ}$$

Выбираем напряжение питания ГПП равным 110 кВ.

Определим полную максимальную нагрузку предприятия по выражению (5.3):

$$S_{\text{рп}}= \sqrt{P_{\text{рп}}^2 + Q_{\text{рп}}^2} \quad (5.3)$$

где  $S_{\text{рп}}$  – полная максимальная нагрузка предприятия, кВа;

$Q_{\text{рп}}$  – реактивная максимальная нагрузка, квар.

Определим реактивную максимальную нагрузку по выражению (5.4):

$$Q_{\text{рп}}=P_{\text{рп}} \cdot \text{tg}\varphi \quad (5.4)$$

Рассчитываем реактивную максимальную нагрузку по (5.4):

$$Q_{\text{рп}}=29099 \cdot 0,23=6692 \text{ квар}$$

Рассчитываем полную максимальную нагрузку завода ЖБИ по (5.3):

$$S_{\text{рп}}= \sqrt{29099^2 + 6692^2}=29858 \text{ кВА}$$

Определяем мощность трансформаторов ГПП промышленного предприятия по выражению (5.4):

$$S_{\text{номТ}}= \frac{S_{\text{рп}} \cdot K_{1-2}}{K_{\text{пер}}} \quad (5.4)$$

где  $S_{\text{номТ}}$  – номинальная мощность трансформаторов ГПП, кВа;

$K_{1-2}$  – коэффициент участия в нагрузке потребителей 1 и 2 категории;

$K_{\text{пер}}$  – коэффициент допустимой аварийной перегрузки.

Рассчитываем мощность трансформаторов ГПП предприятия по (5.4):

$$S_{\text{номТ}} = \frac{29858 - 0,75}{1,4} = 21326 \text{ кВа.}$$

Принимаем для установки на ГПП завода два трансформатора типа ТРДН-25000/110 производства ООО «Тольяттинский трансформатор».

## **6 Выбор схемы электроснабжения предприятия и расчет сечения питающих линий**

На выбор схемы электроснабжения сильнее всего влияют следующие факторы:

- Категория по надежности электроснабжения;
- Размещение цехов предприятия на генеральном плане;
- Мощности нагрузок цехов предприятия.

Существуют радиальные, магистральные и смешанные схемы электроснабжения. Наиболее применимыми являются смешанные схемы электроснабжения, т.к. они имеют элементы как радиальных так и магистральных схем. Конкретно радиальные схемы нашли широкое применение на предприятиях с большим числом ЭП 1 категории по надежности электроснабжения (например предприятия химической промышленности). На предприятиях имеющих большое количество ЭП с категориями электроснабжения 2 и 3 хорошо применимы магистральные схемы (например, машиностроительные предприятия).

Для рассматриваемого трубопрокатного завода применима смешанная схема электроснабжения по следующим причинам:

- Имеются ЭП находящиеся на большом удалении от ГПП и запитка которых рациональна по радиальной схеме;
- Имеется группа высоковольтных ЭП, расположенных на одной территории, для которых целесообразно сооружение распределительного пункта (РП) который запитан по радиальной схеме;
- Имеются группы маломощных потребителей расположенных близко друг к другу запитка которых целесообразна по магистральной схеме.

Также необходимо выбрать принципиальную схему ГПП в соответствии с требованиями [6] и [7]. Выбираем схему 110-5АН мостик с

выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов. Данную схему возможно применять для тупиковых подстанций, в том числе для ГПП промышленных предприятий.

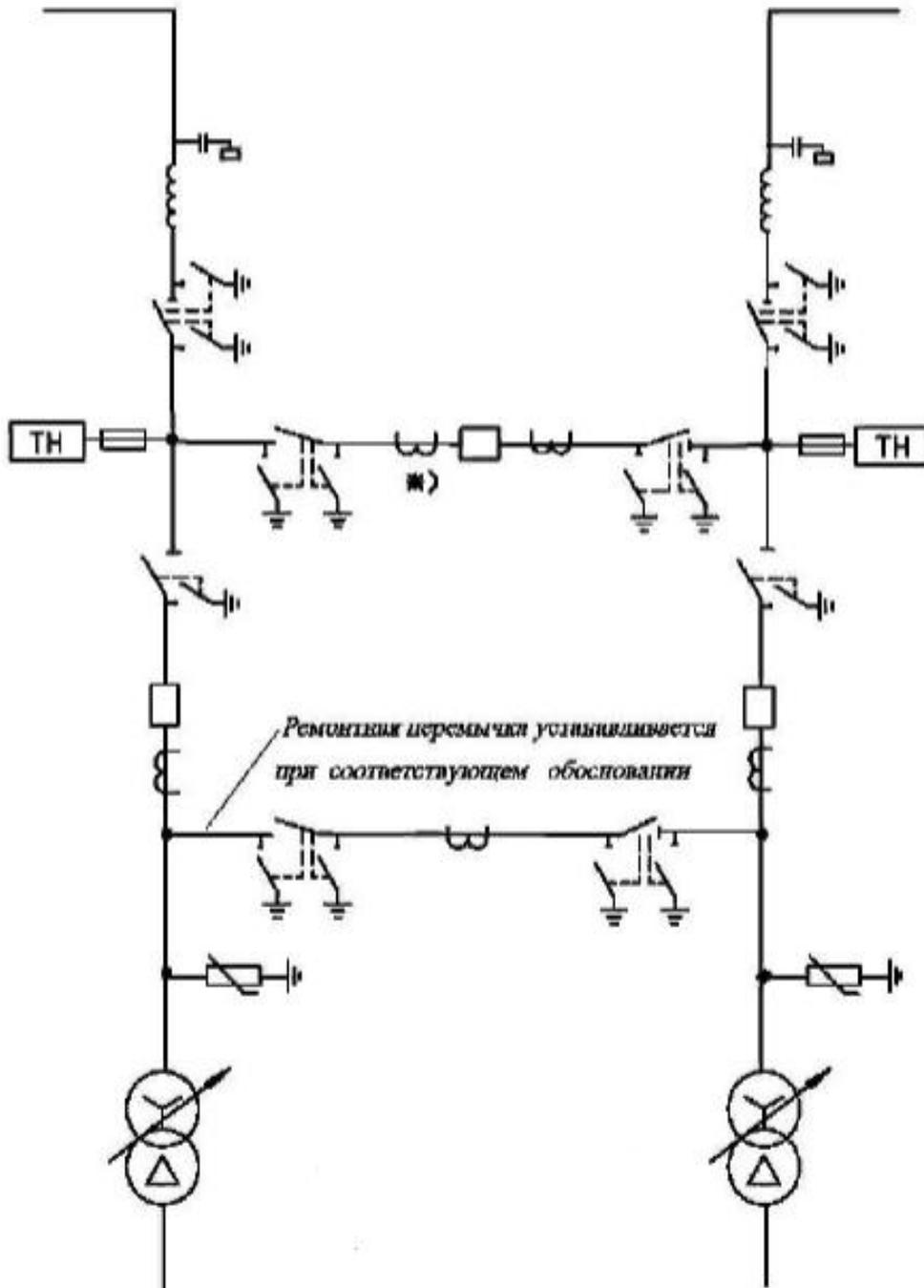


Рисунок 5 – Схема 110-5АН выбранная для ГПП

В этом пункте так же производится выбор сечения, марок и способов прокладки кабельных линий (КЛ) 10 кВ. по территории предприятия.

Определим расчетный ток в кабельной линии по выражению (6.1):

$$I_{\text{кл}} = \frac{S_{\text{кл}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} \quad (6.1)$$

где  $I_{\text{кл}}$  – ток в кабельной линии, А;

$S_{\text{кл}}$  – полная мощность передающаяся по кабельной линии, кВА;

Рассчитываем ток в кабельной линии ГПП-ТП-1 по (6.1):

$$I_{\text{кл}} = \frac{994}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,4 \text{ А.}$$

Теперь выберем способ прокладки кабельной линии с учетом всех факторов. Примем способ прокладки в земле согласно схеме, представленной на рисунке 6.

Сечение определяем в соответствии с [8] по справочным таблицам. Принимаем сечение кабеля 16 мм и марку кабеля ААШВ-3х16.

Выбор остальных кабельных линий производится аналогично. Данные сведены в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Выбор кабелей для прокладки на заводе ЖБИ

Наименование КЛ	Ток в КЛ, А	Сечение КЛ, мм <sup>2</sup>	Способ прокладки	марка кабеля
1	2	3	4	5
ГПП-ТП-1	19,13	16	в земле, в полу	ААШВ-3х16
ГПП-ТП-2	57,4	16	в земле, в полу	ААШВ-3х16
ГПП-ТП-6	16,5	16	в земле	ААШВ-3х16
ГПП-ТП-9	13,23	16	в земле	ААШВ-3х16
ГПП-ТП-16	6,64	16	в земле	ААШВ-3х16

Продолжение таблицы 6.1

1	2	3	4	5
ГПП-РП-1	1146	3х185	в земле, в	ААШВ-

			полу	3х(3х185)
РП-1-ТП-4	66	16	в земле, в полу	ААШВ-3х16
РП-1-ТП-3	66	16	в земле, в полу	ААШВ-3х16
РП-1-ТП-5	66	16	в земле, в полу	ААШВ-3х16
РП-1-ТП-7	12	16	в земле, в полу	ААШВ-3х16
РП-1-ТП-8	96	25	в земле, в полу	ААШВ-3х25
РП-1-ТП-15	99	25	в полу	ААШВ-3х25
РП-1-СД-1	112	25	в земле, в полу	ААШВ-3х25
РП-1-СД-2	112	25	в земле, в полу	ААШВ-3х25
РП-1-СД-3	112	25	в земле, в полу	ААШВ-3х25
РП-1-СД-4	112	25	в земле, в полу	ААШВ-3х25
ГПП-РП-2	568	120	в земле, в полу	ААШВ-3х25
РП-2-ТП-11	100	25	в земле, в полу	ААШВ-3х25

Продолжение таблицы 6.1

1	2	3	4	5
ТП-11-ТП-10	50	25	в полу	ААШВ-3х25

РП-2-ТП-12	150	50	в земле, в полу	ААШВ-3х50
ТП-12-ТП-13	100	25	в полу	ААШВ-3х25
ТП-13-ТП-12	50	25	в полу	ААШВ-3х25
РП-2-СД-5	94	25	в земле, в полу	ААШВ-3х25
РП-2-СД-6	94	25	в земле, в полу	ААШВ-3х25
РП-2-СД-7	94	25	в земле, в полу	ААШВ-3х25
РП-2-СД-8	94	25	в земле, в полу	ААШВ-3х25

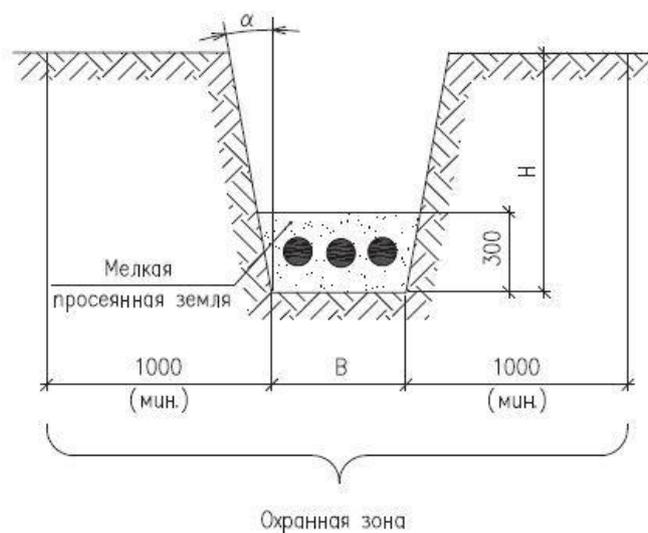


Рисунок 6 – Прокладка кабелей в траншее

## 7 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания (КЗ) производится для выбора следующего электрооборудования:

- Автоматические выключатели;
- Силовые выключатели;
- Разъединители;
- Измерительные трансформаторы тока и напряжения;

Расчет токов КЗ выполняется в соответствии с ГОСТ Р 52735-2007 [9].

Определим сопротивления элементов схемы. Для этого необходимо составить расчетную схему и схему замещения. Расчетная схема и схема замещения приведены на рисунках 7 и 8.

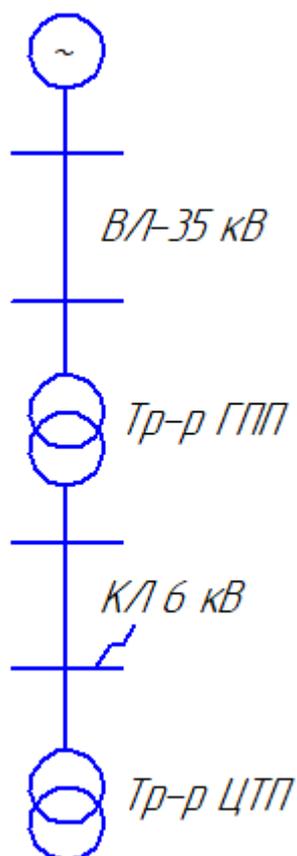


Рисунок 7 – Расчетная схема

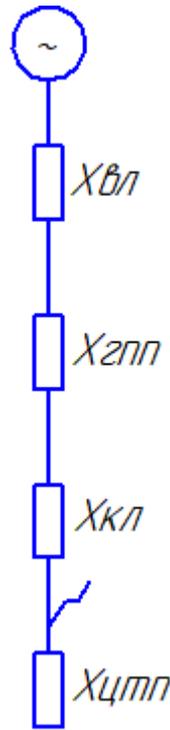


Рисунок 8 – Схема замещения

Выполним расчет токов КЗ на стороне 10 кВ.

Определим реактивное сопротивление энергосистемы в относительных единицах (о.е.) по выражению (7.1):

$$x_c = \frac{S_б}{S_k} \quad (7.1)$$

где  $x_c$  – сопротивление энергосистемы, о.е.;

$S_k$  – мощность трехфазного КЗ, МВА;

$S_б$  – базисная мощность, МВА

Рассчитаем реактивное сопротивление энергосистемы по (7.1):

$$x_c = \frac{1000 \cdot 10^3}{800 \cdot 10^3} = 1,25 \text{ о.е.}$$

Определим сопротивление КЛ 10 кВ по выражению (7.2):

$$x_{кл} = x_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_{ср}^2} \quad (7.2)$$

где  $x_{кл}$  – сопротивление кабельной линии, о.е.;

$x_{уд}$  – удельное сопротивление линии питающей подстанцию, Ом/км;

$l$  – длина линии, км;

Рассчитываем сопротивление КЛ 10 кВ ГПП-ТП-1 по (7.2):

$$x_{кл}=0,113 \cdot 322 \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{(10,5 \cdot 10^3)^2}=0,33 \text{ Ом}$$

Определим сопротивление ВЛ 110 кВ по выражению (7.2):

$$x_{л}=0,359 \cdot 1700 \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{(38,5 \cdot 10^3)^2}=0,41 \text{ Ом}$$

Определим сопротивление трансформатора ЦТП по выражению (7.3):

$$x_{тп}=\frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{номт}} \quad (7.3)$$

где  $x_{тп}$  – сопротивление трансформатора ЦТП, Ом

$U_k$  – напряжение КЗ, %;

Рассчитываем сопротивление трансформатора по (7.3):

$$x_{тп}=\frac{5,5}{100} \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{1000 \cdot 10^3}=0,052 \text{ Ом}$$

Определим сопротивление трансформатора на ГПП по (7.3):

$$x_{т}=\frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{25000 \cdot 10^3}=0,042 \text{ Ом}$$

Определим результирующее сопротивление схемы по выражению (7.4):

$$x_{рез}=x_c+x_{кл}+x_{л}+x_{тп}+x_{т} \quad (7.4)$$

Рассчитаем результирующее сопротивление схемы по (7.4):

$$x_{рез}=1,25+0,33+0,41+0,052+0,042=2,08$$

Определим базисный ток по выражению (7.5):

$$I_6=\frac{S_6}{3 \cdot U_6} \quad (7.5)$$

где  $I_6$  – базисный ток,  
 $U_6$  – базисное напряжение.

Рассчитываем базисный ток по (7.5):

$$I_6 = \frac{1000 \cdot 10^3}{3 \cdot 10,5 \cdot 10^3} = 55,05 \text{ кА.}$$

Теперь определим значение периодической составляющей по выражению (7.6):

$$I_{п0} = \frac{E''}{x_{рез}} \cdot I_6 \quad (7.6)$$

где  $I_{п0}$  – ток периодической составляющей, кА;  
 $E''$  – сверхпереходная ЭДС;  
 $x_{рез}$  – результирующее сопротивление. Ом.

Рассчитываем значение периодической составляющей тока КЗ КЛ ГПП-ТП-1 по (7.6):

$$I_{п0} = \frac{1}{2,08} \cdot 55,05 = 26,4 \text{ кА.}$$

Определим ударный ток КЗ по выражению (7.7):

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п0} \cdot K_{уд} \quad (7.7)$$

где  $i_{уд}$  – ударный ток КЗ, кА;  
 $K_{уд}$  – ударный коэффициент.

Рассчитываем ударный ток КЗ по (7.7) на стороне 10 кВ:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 26,4 \cdot 1,4 = 52,1 \text{ кА.}$$

Как видно из расчета ударного тока КЗ, его значение слишком велико, поэтому необходимо применение токоограничивающих реакторов на ГПП для снижения значения ударного тока КЗ.

Проведем выбор реакторов.

Определим необходимое сопротивление реактора по выражению (7.8):

$$x_p = \frac{10 \cdot U_K \cdot U_H}{\sqrt{3} \cdot I_H} \quad (7.8)$$

где  $x_p$  – сопротивление реактора, Ом.

Рассчитываем необходимое сопротивление реактора по (7.8):

$$x_p = \frac{10 \cdot 8 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 2125} = 0,217 \text{ Ом.}$$

Теперь рассчитаем значение тока КЗ учитывая сопротивление тока КЗ по (7.6):

$$I_{п0} = \frac{1}{2,3} \cdot 55,05 = 23,9 \text{ кА.}$$

Рассчитываем повторно ударный ток КЗ по (7.7) на стороне 10 кВ:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 23,9 \cdot 1,4 = 47,17 \text{ кА.}$$

Расчет остальных токов КЗ ведется аналогично.

Выполним расчет токов КЗ на стороне 110 кВ.

Определим базисный ток на стороне 110 кВ по (7.4):

$$I_6 = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot 10^3} = 8,69 \text{ кА.}$$

Теперь определим значение периодической составляющей тока КЗ по (7.5):

$$I_{п0} = \frac{1}{1,7} \cdot 8,69 = 5,11 \text{ кА.}$$

Рассчитываем ударный ток КЗ по (7.7) на стороне 110 кВ:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 5,11 \cdot 1,5 = 10,8 \text{ кА}$$

Данные расчета сведены в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Результаты расчета токов КЗ

ЦТП, РП	$I_{п0}$ , кА	$i_{уд}$ , кА
ТП-1	23,9	47,2
ТП-2	21,2	45,6
ТП-3	21,6	46,4
ТП-4	24,1	48,4
ТП-5	22,2	46,7
ТП-6	23,6	46,9
ТП-7	23,8	47,2
ТП-8	21,9	46,0
ТП-9	23,9	47,9
ТП-10	22,1	45,7
ТП-11	23,7	46,8
ТП-12	22,4	46,5
ТП-13	24,2	48,0
ТП-14	23,7	46,4
ТП-15	21,4	45,8
ТП-16	23,5	46,7
РП-1	22,1	45,6
РП-2	23,3	46,1

Теперь выполним расчет токов КЗ для высоковольтных электродвигателей расположенных во втором и третьем трубопрокатном цехах.

Определим сверхпереходное индуктивное сопротивление синхронного электродвигателя по выражению (7.7):

$$x_{сд} = \frac{1}{K_{п}} \cdot \frac{U_{ном}^2 \cdot \cos\varphi \cdot \eta}{P_{ном}}, \quad (7.7)$$

где  $x_{сд}$  – сверхпереходное сопротивление синхронного электродвигателя;

$K_{\text{п}}$  – кратность пускового момента;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение электродвигателя, кВ

$\eta$  – коэффициент полезного действия, %;

$P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность синхронного электродвигателя, МВт.

Рассчитываем сверхпереходное индуктивное сопротивление синхронного электродвигателя по (7.9):

$$X_{\text{сд}}'' = \frac{1}{5,8} \cdot \frac{10^2 \cdot 0,85 \cdot 0,92}{4} = 3,37 \text{ Ом.}$$

Определим ток подпитки КЗ от синхронного электродвигателя по выражению (7.8):

$$I_{\text{п}} = \frac{U_{\text{ном}}}{X_{\text{сд}}'' + X_{\text{д}}} \quad (7.8)$$

где  $I_{\text{п}}$  – ток подпитки КЗ от синхронного электродвигателя, кА.

Определяем ток подпитки КЗ от синхронного электродвигателя по (7.8):

$$I_{\text{п}} = \frac{10}{3,37 + 0,95} = 2,3 \text{ кА}$$

Расчет тока подпитки остальных электродвигателей ведется аналогично.

## 8 Выбор электрооборудования

В этом пункте производится выбор электрооборудования для трубопрокатного завода. Производится выбор следующего электрооборудования:

- Силовые выключатели;
- Измерительные трансформаторы тока и напряжения;
- Разъединители;
- Плавкие предохранители;
- Ошиновка для ГПП;
- Оборудование для комплектных распределительных устройств (КРУ);
- Оборудование для цеховых трансформаторных подстанций (ЦТП).

При осуществлении выбора электрооборудования необходимо стремиться выбирать комплектное оборудование. Как правило, электрооборудование такого типа поставляется уже в собранном или подготовленном к сборке виде. Этот принцип позволяет выполнять монтаж электрооборудования с наименьшими затратами времени.

### 8.1 Выбор выключателей

В данном пункте произведем выбор силовых выключателей для ГПП, РП-1 и РП-2. Выбор выключателей производится по номинальному току, номинальному напряжению, току срабатывания при возникновении КЗ. Для установки в КРУ 6 кВ ГПП и в КРУ 6 кВ РП-1 и РП-2 используем выключатели ВВУ-СЭЦ-10 производства самарского завода ЗАО «ЗЭТО».

Определим апериодическую составляющую тока КЗ которую способен выдержать выбранный выключатель по выражению (8.1):

$$i_{a, \text{ном}} = \sqrt{2} \cdot \frac{\beta_{\text{нор}}}{100} \cdot I_{\text{откл. ном}} \quad (8.1)$$

где  $i_{a.ном}$  – аperiodическая составляющая тока КЗ по паспортным данным выбранного выключателя, кА;

$\beta_{нор}$  – нормативный коэффициент аperiodической составляющей тока КЗ;

$I_{откл. ном}$  – номинальный ток отключения выбранного выключателя, кА.

Рассчитываем аperiodическую составляющую тока КЗ которую способен выдержать выключатель по (8.1):

$$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \frac{40}{100} \cdot 50 = 28,2 \text{ кА.}$$

Рассчитаем аperiodическую составляющую тока КЗ которую способен выдержать выключатель при протекании расчетного тока КЗ для присоединения котельная по (8.1):

$$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \frac{40}{100} \cdot 47,2 = 26,6 \text{ кА.}$$

Теперь определим тепловой импульс тока КЗ по выражению (8.2):

$$V_k = I_T^2 \cdot t_T \quad (8.2)$$

где  $V_k$  – тепловой импульс тока КЗ,  $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$

$I_T$  – ток термической стойкости выключателя, кА;

$t_T$  – время протекания тока термической стойкости, с.

Рассчитываем тепловой импульс по (8.2) для присоединения котельная:

$$V_k = 50^2 \cdot 3 = 7500 \text{ кА}^2/\text{с.}$$

Теперь определим тепловой импульс тока КЗ по (8.2) при протекании расчетного тока КЗ через присоединение котельная:

$$V_k = 47,2^2 \cdot 3 = 4963 \text{ кА}^2/\text{с.}$$

Выбранные выключатели приведены в таблице 8.1

Таблица 8.1 – Выбранные выключатели для КРУ 10 кВ ГПП

Присоединение	Тип выключателя	Расчетные значения					Паспортные значения				
		$U_{ном}$ , кВ	$I_{ном}$ , А	$I_{откл. ном}$ , кА	$i_{а.ном}$ , кА	$B_k$	$U_{ном}$ , кВ	$I_{ном}$ , А	$I_{откл. ном}$ , кА	$i_{а.ном}$ , кА	$B_k$
ТП-1	ВВУ-ZETO-10	10	19,3	47,2	26,6	4963	10	1000	50	28,2	7500
ТП-2	ВВУ-ZETO-10	10	57,4	45,6	25,1	4312	10	1000	50	28,2	7500
ТП-4	ВВУ-ZETO-10	10	332	47	23,9	6442	10	1000	50	28,2	7500
ТП-6	ВВУ-ZETO-10	10	16,5	46,7	21,7	4123	10	1000	50	28,2	7500
ТП-9	ВВУ-ZETO-10	10	13,2	46	21,1	3465	10	1000	50	28,2	7500
ТП-16	ВВУ-ZETO-10	10	6,64	45,8	20,6	3065	10	1000	50	28,2	7500
РП-1	ВВУ-ZETO-10	10	1146	46,7	27,1	6912	10	1500	50	28,2	7500
РП-2	ВВУ-ZETO-10	10	568	45,6	20,2	3010	10	1000	50	28,2	7500

Выключатели, выбранные для РП компрессорной приведены в таблице 8.2

Таблица 8.2 – Выбранные выключатели для РП-1

Присоединение	Тип выключателя	Расчетные значения					Паспортные значения				
		$U_{ном}$ , кВ	$I_{ном}$ , А	$I_{откл. ном}$ , кА	$i_{а.ном}$ , кА	$B_k$	$U_{ном}$ , кВ	$I_{ном}$ , А	$I_{откл. ном}$ , кА	$i_{а.ном}$ , кА	$B_k$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТП-3	ВВУ-ZETO-10	10	66	46,4	22,4	3765	10	1000	50	28,2	7500
ТП-4	ВВУ-ZETO-10	10	66	48,4	22,4	5442	10	1000	50	28,2	7500
ТП-5	ВВУ-ZETO-10	10	66	46,7	22,4	4111	10	1000	50	28,2	7500

Продолжение таблицы 8.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТП-7	ВВУ-ZETO-10	10	12	47,2	23,6	3233	10	1000	50	28,2	7500
ТП-8	ВВУ-ZETO-10	10	96	46,0	23,9	6343	10	1000	50	28,2	7500
ТП-15	ВВУ-ZETO-10	10	99	45,8	21,9	3442	10	1000	50	28,2	7500
СД-1	ВВУ-ZETO-10	10	112	2,3	0,56	0,515	10	1000	50	28,2	7500
СД-2	ВВУ-ZETO-10	10	112	2,3	0,56	0,515	10	1000	50	28,2	7500
СД-3	ВВУ-ZETO-10	10	112	2,3	0,56	0,515	10	1000	50	28,2	7500
СД-4	ВВУ-ZETO-10	10	112	2,3	0,56	0,515	10	1000	50	28,2	7500

Таблица 8.3 – Выбранные выключатели для РП-2

Присоединение	Тип выключателя	Расчетные значения					Паспортные значения				
		$U_{ном}$ , кВ	$I_{ном}$ , А	$I_{откл. ном}$ , кА	$i_{а.ном}$ , кА	$B_k$	$U_{ном}$ , кВ	$I_{ном}$ , А	$I_{откл. ном}$ , кА	$i_{а.ном}$ , кА	$B_k$
ТП-11	ВВУ-ZETO-10	10	100	46,8	22,2	3765	10	1000	50	28,2	7500
ТП-12	ВВУ-ZETO-10	10	150	46,5	22,2	5442	10	1000	50	28,2	7500
СД-5	ВВУ-ZETO-10	10	94	0,9	0,44	4111	10	1000	50	28,2	7500
СД-6	ВВУ-ZETO-10	10	94	0,9	0,44	3233	10	1000	50	28,2	7500
СД-7	ВВУ-ZETO-10	10	94	0,9	0,44	6343	10	1000	50	28,2	7500
СД-8	ВВУ-ZETO-10	10	94	0,9	0,44	3442	10	1000	50	28,2	7500

В таблице 8.4 приведены выключатели выбранные для ОРУ 110 кВ ГПП

Таблица 8.4 – Выбранные выключатели для ОРУ 110 кВ ГПП

Тип выключателя	Расчетные значения					Паспортные значения				
	U <sub>ном,</sub> кВ	I <sub>ном,</sub> А	I <sub>откл.</sub> ном, кА	i <sub>а.ном,</sub> кА	B <sub>к</sub>	U <sub>ном,</sub> кВ	I <sub>ном,</sub> А	I <sub>откл.</sub> ном, кА	i <sub>а.ном,</sub> кА	B <sub>к</sub>
ВЭБ-УЭТМ-110	110	156	5,11	12	240	10	1000	25	14,1	1875
ВЭБ-УЭТМ-110	110	156	5,11	12	240	10	1000	25	14,1	1875

## 8.2 Выбор измерительных трансформаторов

Далее выполним выбор измерительных трансформаторов напряжения и тока для ГПП, РП-1 и РП-2.

Необходимо определить вторичную нагрузку трансформатора напряжения по выражению (8.3):

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2} \quad (8.3)$$

где  $S_{2\Sigma}$  – суммарная полная мощность приборов подключенных ко вторичной обмотке трансформатора напряжения, ВА;

$P_{\text{приб}}$  – активная мощность приборов подключенных ко вторичной обмотке трансформатора напряжения, Вт;

$Q_{\text{приб}}$  – реактивная мощность приборов подключенных ко вторичной обмотке трансформатора напряжения, вар.

Рассчитываем вторичную нагрузку трансформатора напряжения для ГПП по (8.3):

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{7,76^2 + 4,21^2} = 8,82 \text{ ВА}$$

Вторичная нагрузка для трансформаторов напряжения на напряжение 10 кВ определяется аналогично.

К установке примем трансформаторы напряжения типа НОЛ-СЭЦ-10 и ЗНГ-УЭТМ-110.

Параметры выбранных трансформаторов напряжения приведены в таблице 8.4.

Таблица 8.5 – выбранные трансформаторы напряжения

Место установки	Тип трансформатора напряжения	Расчетные значения		Паспортные значения	
		$U_{\text{ном}}$ , кВ	$S_{2\Sigma}$ , ВА	$U_{\text{ном}}$ , кВ	$S_{2\Sigma}$ , ВА
ГПП	ЗНГ-УЭТМ-110	110	8,82	110	600
РП-1	НОЛ-ZETO-10	10	5,30	10	600
РП-2	НОЛ-ZETO-10	10	5,30	10	600

Выбранные трансформаторы тока для присоединений 10 кВ ГПП приведены в таблице 8.6

К установке на ОРУ ГПП, в КРУ 10 кВ ГПП, РП-1 и РП-2 принимаются трансформаторы тока типа ТРГ-УЭТМ-110 и ТШЛ-ZETO-10 соответственно.

Таблица 8.6 – выбранные трансформаторы тока для присоединений 10 кВ ГПП

Место установки и	Тип трансформатора тока	Расчетные значения					Паспортные значения				
		$I_{\text{ном1}}$ , А	$I_{\text{ном2}}$	$I_{\text{эс}}$ , кА	$B_{\text{к}}$	$U_{\text{ном}}$ , кВ	$I_{\text{ном1}}$ , А	$I_{\text{ном2}}$	$I_{\text{эс}}$ , кА	$B_{\text{к}}$	$U_{\text{ном}}$ , кВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ОРУ 110 кВ	ТРГ-УЭТМ-110	19,3	3,5	5,11	240	110	300	5	102	31212	110
ОРУ 110 кВ	ТРГ-УЭТМ-110	19,3	3,5	5,11	240	110	300	5	102	31212	110

ТII-1	ТIIIJ- ZETO-10	57,4	3,6	47,2	4963	10	1000	5	102	31212	10
-------	-------------------	------	-----	------	------	----	------	---	-----	-------	----

Продолжение таблицы 8.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТП-2	ТШЛ- ZETO- 10	332	2,4	45,6	4312	10	1000	5	102	31212	10
ТП-4	ТШЛ- ZETO- 10	16,5	4,6	47	6442	10	1000	5	102	31212	10
ТП-6	ТШЛ- ZETO- 10	13,2	3,8	46,7	4123	10	1000	5	102	31212	10
ТП-9	ТШЛ- ZETO- 10	6,64	1,6	46	3465	10	1000	5	102	31212	10
ТП-16	ТШЛ- ZETO- 10	1146	1,8	45,8	3065	10	1000	5	102	31212	10
РП-1	ТШЛ- ZETO- 10	568	4,9	46,7	6912	10	1000	5	102	31212	10
РП-2	ТШЛ- ZETO- 10	19,3	2,4	45,6	3010	10	1000	5	102	31212	10

В таблице 8.7 приведены выбранные трансформаторы тока для присоединений РП-1.

Таблица 8.7 – Выбранные трансформаторы тока для присоединений РП-1

Место установки	Тип трансформатора тока	Расчетные значения					Паспортные значения				
		$I_{ном1}$ , А	$I_{ном2}$	$I_{эс}$ , кА	$B_k$	$U_{ном}$ , кВ	$I_{ном1}$ , А	$I_{ном2}$	$I_{эс}$ , кА	$B_k$	$U_{ном}$ , кВ
ТП-3	ТШЛ-ZETO-10	66	3,5	46,4	3765	10	1000	5	102	31212	10
ТП-4	ТШЛ-ZETO-10	66	3,6	48,4	5442	10	1000	5	102	31212	10
ТП-5	ТШЛ-ZETO-10	66	2,4	46,7	4111	10	1000	5	102	31212	10
ТП-7	ТШЛ-ZETO-10	12	4,6	47,2	3233	10	1000	5	102	31212	10
ТП-8	ТШЛ-ZETO-10	96	3,8	46,0	6343	10	1000	5	102	31212	10
ТП-15	ТШЛ-ZETO-10	99	3,3	45,8	3442	10	1000	5	102	31212	10
СД-1	ТШЛ-ZETO-10	112	4,6	2,3	0,515	10	1000	5	102	31212	10
СД-2	ТШЛ-ZETO-10	112	4,6	2,3	0,515	10	1000	5	102	31212	10
СД-3	ТШЛ-ZETO-10	112	4,6	2,3	0,515	10	1000	5	102	31212	10
СД-4	ТШЛ-ZETO-10	112	4,6	2,3	0,515	10	1000	5	102	31212	10

Таблица 8.8 – Выбранные трансформаторы тока для присоединений РП-2

Место установки	Тип трансформатора тока	Расчетные значения					Паспортные значения				
		$I_{ном1}$ , А	$I_{ном2}$	$I_{эс}$ , кА	$B_k$	$U_{ном}$ , кВ	$I_{ном1}$ , А	$I_{ном2}$	$I_{эс}$ , кА	$B_k$	$U_{ном}$ , кВ
ТП-11	ТШЛ-ZETO-10	100	4,8	46,8	3765	10	1000	5	102	31212	10
ТП-12	ТШЛ-ZETO-10	150	4,8	46,5	5442	10	1000	5	102	31212	10
СД-5	ТШЛ-ZETO-10	94	3,8	0,9	4111	10	1000	5	102	31212	10
СД-6	ТШЛ-ZETO-10	94	3,8	0,9	3233	10	1000	5	102	31212	10
СД-7	ТШЛ-ZETO-10	94	3,8	0,9	6343	10	1000	5	102	31212	10
СД-8	ТШЛ-ZETO-10	94	3,8	0,9	3442	10	1000	5	102	31212	10

### 8.3 Выбор разъединителей

В таблице 8.9 приведены выбранные разъединители для трубопрокатного завода.

Разъединитель – коммутационный аппарат необходимый для создания видимого разрыва в электрической цепи. Видимый разрыв нужен для обеспечения безопасного проведения ремонтных работ.

К установке на ОРУ ГПП принимаются разъединители типа РПД-УЭТМ-110, на стороне ВН ЦТП к установке принимаются выключатели нагрузки ВНМ-10.

Таблица 8.9 – Выбранные разъединители

Место установки	Тип разъединителя	Паспортные значения				Расчетные значения			
		U <sub>ном</sub> , кВ	I <sub>ном</sub> , А	I <sub>эс</sub> , кА	B <sub>к</sub>	U <sub>ном</sub> , кВ	I <sub>ном</sub> , А	I <sub>эс</sub> , кА	B <sub>к</sub> , кА <sup>2</sup> /с
ГПП	РПД-УЭТМ-35	110	1000	50	7500·10 <sup>6</sup>	110	156	5,11	240
ТП-10	ВНМ-10	10	1000	50	7500·10 <sup>6</sup>	10	50	45,7	2345
ТП-11	ВНМ-10	10	1000	50	7500·10 <sup>6</sup>	10	100	46,8	3765
ТП-12	ВНМ-10	10	1000	50	7500·10 <sup>6</sup>	10	150	46,5	5442
ТП-13	ВНМ-10	10	1000	50	7500·10 <sup>6</sup>	10	100	48,0	5400
ТП-14	ВНМ-10	10	1000	50	7500·10 <sup>6</sup>	10	50	46,4	4654

### 8.4 Выбор предохранителей

Произведем выбор предохранителей. Предохранители являются защитными элементами в электрических цепях. При протекании тока больше чем расчетный ток предохранителя его вставка разрывается, и тем самым разрывается электрическая цепь.

Выбранные предохранители приведены в таблице 8.8.

Таблица 8.10 – Результаты выбора предохранителей

Место установки	Тип предохранителя	Номинальный ток, А	Ток отключения, кА	Номинальное напряжение, кВ	Назначение
ГПП	ПКН-101	5	12,5	110	Защита ТН
РП-1	ПКН-101	10	12,5	10	Защита ТН
РП-2	ПКН-101	10	12,5	10	Защита ТН

### 8.5 Выбор ошиновки для ОРУ 35 кВ ГПП

Выберем ошиновку для ГПП трубопрокатного завода.

Ошиновка подстанции необходима для соединения электрических аппаратов между собой. Материалом для ошиновки обычно, служит алюминий. Выполняется ошиновка, как правило, гибкими шинами или жесткими шинами. Для ГПП трубопрокатного завода примем гибкие шины.

Определим сечение гибких шин на стороне 110 кВ ГПП по экономической плотности тока по выражению (8.4):

$$S = \frac{I_{\text{НОМ}}}{J_{\text{ЭК}}} \quad (8.4)$$

где  $J_{\text{ЭК}}$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>;

$S$  – сечение проводника шины, мм<sup>2</sup>.

Определяем сечение гибких шин на стороне 110 кВ ГПП по экономической плотности тока по (8.4):

$$S = \frac{156}{1} = 156 \text{ мм}^2.$$

Выбираем для ошиновки ГПП сталеалюминевый провод марки АС-185 сечением 185 мм<sup>2</sup>.

Выполним проверку выбранную шину по условиям нагрева длительно допустимым током по выражению (8.5):

$$I_{\text{ДОП}} < I_{\text{НОМ}} \quad (8.5)$$

Выбранное для ошиновки ГПП сечение провода подходит по условиям нагрева длительно допустимым током.

Проверим выбранное сечение ошиновки ГПП по условиям коронирования по выражениям (8.5) и (8.6):

$$E_0 = 30,3 \cdot m \left( 1 + \frac{0,299}{r_0} \right) \quad (8.5)$$

где  $E_0$  – критическая напряженность, кВ/см;  
 $m$  – коэффициент шероховатости шины;  
 $r_0$  – радиус провода, см.

$$E = \frac{0,345 \cdot U}{r_0 \cdot \lg \frac{D_{\text{ср}}}{r_0}} \quad (8.6)$$

где  $E$  – напряженность вокруг провода, кВ/см;  
 $D_{\text{ср}}$  – среднее геометрическое расстояние между проводами, см

Проверяем сечение ошиновки ГПП по условиям коронирования по (8.5) и (8.6):

$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \cdot \left( 1 + \frac{0,299}{0,144} \right) = 46,40 \text{ кВ/см}$$

$$E = \frac{0,345 \cdot 38,5}{0,144 \cdot 2,11} = 43,71 \text{ кВ/см}$$

Проверим выбранные шины по условиям отсутствия короны по выражению (8.7):

$$1,07E \leq 0,9E_0 \quad (8.7)$$

$$1,07 \cdot 43,71 < 0,9 \cdot 46,40$$

Вокруг выбранных шин коронирования не возникает.

## **8.6 Выбор КРУ 6 кВ для ГПП и РП**

Как правило, КРУ поставляется в полностью собранном или подготовленном к сборке виде. Это позволяет сократить время монтажа оборудования. Современные КРУ имеют преимущество перед старыми образцами распределительных устройств:

- Микропроцессорная релейная защита;
- Применение вакуумных выключателей;
- Облегчение конструкций;
- Более высокая степень обеспечения безопасности персонала и оборудования.

Для монтажа на ГПП и в РП компрессорной прием КРУ ЗЭТО-10 производства ЗАО «ЗЭТО», данное КРУ допускает установку выбранного оборудования.

## **8.7 Выбор ЦТП 10 кВ**

ЦТП сооружаются как КТП. КТП имеют ряд преимуществ по сравнению с обычными сборными ТП:

- Простота монтажа;
- Простота эксплуатации;
- Простота в ремонте.

Для монтажа в качестве КТП принимаем КТП-СЭЩ-70 производства ЗАО «ЗЭТО».

## 9 Монтаж электрооборудования

В данном пункте рассматривается вопрос проведения монтажных работ при прокладке кабельных линий и установки распределительных трансформаторов ЦТП. Монтажные работы проводятся в рамках строительства группы цехов трубопрокатного завода.

Прокладка кабельных линий на территории группы цехов трубопрокатного завода осуществляется в земле и под полом производственных корпусов. Эти способы прокладки является наиболее простыми, т.к:

- значительное удешевление стоимости КЛ;
- снижается сложность ремонта;
- занимает малое пространство.
- имеется защита от атмосферных воздействий;
- имеется защита от воздействия коррозии

Кроме того прокладка кабельных линий в земле значительно проще, чем в кабельных галереях, по той причине, что нет необходимости в строительстве кабельных галерей. Прокладка кабельных линий под полом производственных корпусов также проста.

Прокладка кабельных линий в земле включает в себя следующие этапы работ:

- 1) раскопка траншеи;
- 2) установка барабана (катушки) с кабелем;
- 3) подъем барабана для свободного вращения;
- 4) протяжка кабеля параллельно проектной трассе;
- 5) выполнение заземления кабельной линии;
- 6) установка предупреждающих табличек;
- 7) испытание кабельной линии на соответствие требованиям указанным в ПУЭ.

При прокладке кабелей под полом выполняются следующие операции:

- 1) вскрытие пола в корпусе в соответствии с проектной трассой кабельной линии;
- 2) укладка кабеля в короб под полом;
- 3) закрытие короба с кабелем;
- 4) нанесение обозначений;
- 5) монтаж кабельных колодцев для доступа к кабелю.

На заводе ЖБИ монтируются масляные трансформаторы.

При монтаже масляных трансформаторов выполняются следующие операции:

- 1) выгрузка трансформатора краном;
- 2) осмотр трансформатора;
- 3) установка трансформатора на фундамент;
- 4) монтаж радиаторов системы охлаждения;
- 5) промывка радиаторов системы охлаждения трансформатора маслом;
- 6) заливка трансформаторным маслом;
- 7) чистка трансформатора от грязи и пыли;
- 8) присоединение трансформатора к питающей кабельной линии и к шинам НН распределительного устройства ЦТП;
- 9) проведение приемо-сдаточных испытаний трансформатора на соответствие требованиям указанным в ПУЭ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен проект системы электроснабжения трубопрокатного завода, расположенного на средней Волге.

На первом этапе выполнен расчет электрических нагрузок по заводу. Полученные результаты расчета электрических нагрузок использованы для выбора трансформаторов ЦТП и ГПП, сечения кабельных линий системы электроснабжения завода.

Выполнен выбор напряжения внутреннего электроснабжения и внешнего электроснабжения завода. Напряжение внутреннего электроснабжения принимается равным 10 кВ, а внешнего – 110 кВ.

В качестве трансформаторов приняты к установке масляные трансформаторы типа ТМГ с линейкой мощностей от 40 кВА до 1600 кВА производства ООО «Тольяттинский трансформатор». Для ГПП выбраны 2 трансформатора типа ТРДН-25000/110.

На втором этапе по рассчитанным электрическим нагрузкам на первом этапе проведен выбор сечения и марки кабелей. К монтажу приняты кабели марки ААШВ с диапазоном сечений от 16 мм<sup>2</sup> до 240 мм<sup>2</sup>.

На третьем этапе выполнен расчет токов трехфазного короткого замыкания. Полученные в результате расчета значения использованы для выбора электрических аппаратов, таких как силовые выключатели, измерительные трансформаторы тока и напряжения, разъединители, предохранители. В работе приняты к установке вакуумные выключатели типа ВВУ-ZETO-10 производства ЗАО «ЗЭТО». Преимуществом вакуумных выключателей является пожаробезопасность, простота обслуживания, безопасность для персонала. В качестве трансформаторов тока к установке приняты трансформаторы тока типа ТОЛ-ZETO-110 и ТШЛ-ZETO-10.

В качестве разъединителей и выключателей нагрузки к установке приняты РПД-УЭТМ-110 и ВНМ-ZETO-10

При выполнении проектирования системы электроснабжения завода использовались современные и актуальные нормы проектирования и

руководящие документы, перечень которых описан в списке использованных источников.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы спроектирована система электроснабжения трубопрокатного завода, отвечающая требованиям надежности и качества электроснабжения.

Также выполнена графическая часть в виде 6 чертежей формата А1.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок промышленных предприятий. М: ОАО Тяжпромэлектропроект, 1992. 9 с.
2. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий: учеб. метод. пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования. Тольятти: ТГУ, 2004. 90 с.
3. М788-1069 Справочные данные по расчетным коэффициентам электрических нагрузок. М: Тяжпромэлектропроект. 1990. 73 с.
4. Нормы технологического проектирования электроснабжения промышленных предприятий. М: ОАО Тяжпромэлектропроект, 1994. 70 с.
5. РТМ 36.18.32.6-92 Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий. М: ОАО Тяжпромэлектропроект, 1993. 32 с.
6. СТО 56947007-29.240.30.047-2010 Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. М: ОАО ФСК ЕЭС, 2010. 128 с.
7. СТО 56947007 29.240.30.010-2008 Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения. М.: ОАО ФСК ЕЭС, 2007. 132 с.
8. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Норматика, 2016. – 464 с.
9. РД 153.34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М: ОАО РАО ЕЭС России, 1998. 131 с.
10. В.И. Готман Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. Томск: ТПУ, 2013. 120 с.
11. Степкина, Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции: учеб. метод. пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования. Тольятти: ТГУ, 2007. 124 с.

12. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб.-метод. пособие для практических занятий и курсового проектирования. Тольятти; ТГУ 2007. 54 с.
13. Киреева Э.А. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учебное пособие. М: Кнорус, 2017. 368 с.
14. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: учебное пособие. М: Инфра-М, 2013. 271 с.
15. Годжелло А.Г., Ю.К. Розанов Электрические и электронные аппараты. М: Издательский центр Академия, 2010. 352 с.
16. Zakhidov R. An Approach to the Creation of the Adaptive Control Sys-tem for Integration of Nonsteady Power Sources into a Common Electric Power Grid // Proceedings of the Tenth International Conference on Management Science and Engineering Management. 2016. №1 P. 563-574.
17. W.H. Tang, Q.H. Wu Condition monitoring and assessment of power transformers using computational intelligence. Liverpool: The University of Liverpool, 2011. 194 p.
18. Асинхронные двигатели. Самара: СГТУ, 2008. 142 с.
19. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. М: Интернет Инжиниринг, 2006. 672 с.
20. Riley J. System relay protection. // Competition and choice in electricity – Seattle, 2016. p. 211-220.
21. Shaohua C., Ma Biyan A comprehensive and quantitative calculation of the reliability of relay protection systems // Competition and choice in electricity – Seattle, 2016. p. 101-115.
22. Jensen C. F. Online Location of Faults on AC Cables in Underground Transmission Systems. Alborg: Department of Energy Technology, 2014. p. 221.
23. Лизунов С.Д., Лоханин А.К. Силовые трансформаторы: справочная книга. М: ГУП ВЭИ, 2004. 616 с.
24. Макаричев Ю.А., Овсянников В.Н. Синхронные машины. Самара: СГТУ, 2010. 156 с.

25. ГОСТ Р-55025-2012 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно. Общие технические условия. М: Стандартинформ, 2012. 35 с.