

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 «Электроснабжение группы цехов завода по выпуску спецтехники»

Студент

И.А. Кальнин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко

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

Тольятти 2020

## Аннотация

Целью выпускной квалификационной работе является выполнение проекта по электроснабжению группы цехов завода, выпускающего спецтехнику.

В процессе выполнения работы были рассчитаны: электрические нагрузки по цехам и по всему предприятию, токи короткого замыкания на ВН и НН. Выбраны: трансформаторы цеховых подстанций, компенсирующие установки, силовой трансформатор, трансформатор собственных нужд, оборудование на стороне 10 кВ и стороне 110кВ. Определили местоположение ГПП и электрическую схему подстанции.

Бакалаврская работа включает в себя 59 страниц текста, 8 рисунков, 15 таблиц, 21 литературный источник, и графические материалы, выполненные на 6 чертежах формата А1.

## Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика объекта проектирования.....	5
2 Расчет электрических нагрузок.....	9
3 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций. Выбор компенсирующих установок. ....	20
4 Определение местоположение ГПП.....	32
5 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП и выбор электрической схемы подстанции.....	38
6 Расчет коротких замыканий.....	40
7 Выбор и проверка оборудования на стороне 110 кВ.....	44
8 Выбор и проверка оборудования на стороне 10 кВ ГПП.....	50
9 Выбор трансформаторов собственных нужд и оперативного тока....	56
Заключение.....	57
Список используемых источников.....	58

## Введение

Электроэнергетика — это базовая инфраструктурная отрасль РФ, обеспечивающая страну электроэнергией. Она надежно выполняет задачу по электроснабжению, то есть снабжает электрической энергией, как народное хозяйство, так и различные бытовые нужды потребителей. Первыми по объему потребления энергии представляют собой сельское хозяйство, коммунальное хозяйство, транспорт, а также промышленные предприятия. На производственные процессы происходящие на промышленных предприятиях, потребляется доля более 60 — 70% от всей выработанной электроэнергии.

Самая большая группа электроприемников это - электроприводы промышленных механизмов: вентиляторы, насосы компрессора, грузовые машины, подъемно-транспортные машины и т.д.

Для обеспечения питания производства электрической энергией в нужном объеме и соответствующего качества, от энергетической системы к промышленным объектам, механизмам, электроустановкам, устройствам предназначены и используются системы электроснабжения промышленных предприятий.

Систему электроснабжения промышленного предприятия условно принято делить на три подсистемы:

1. Систему внешнего- соединяющие ТП энергосистемы с приемными ГПП);
2. Систему внутризаводского электроснабжения;
3. Система внутрицехового это совокупность внутрицеховых ТП, распределительных сетей, распределительных пунктов или шинопроводов и сетей непосредственного питания ЭП.

Целью бакалаврской работы является разработка системы электроснабжение группы цехов завода по выпуску спецтехники для обеспечения надежного электроснабжения и качества электроэнергии.

## **1 Характеристика объекта проектирования**

О предприятии.

Группа предприятие «ГПСЦ» было основано в 1995 как компания которая разрабатывает и занимается поставкой спец техники.

Завод по выпуску спецтехники «ГПСЦ» занимает значительное место в производстве специальной техники для разных отраслей.

Двадцать пять лет «ГПСЦ» делает предложение бизнесу в области, коммунального строительства, транспортной логистики и аэропортов.

История компании - это постепенное повышение производственных показателей в списке которых: качество, объем выполненных работ, реализация выпущенного продукта и величина технической оснащённости.

Продукция «ГПСЦ»:

- Передвижные мастерские;
- Передвижные лаборатории;
- Вагон - дома;
- Автоцистерны;
- Лесовозная техника;
- Аэродромная спецтехники.

Преимущества компании:

- опыт производства;
- наличие готовой продукции;
- гарантия;
- сервис;
- контроль качества.

Технический сервис.

Предложение по всем видам диагностики, тех обслуживания и ремонта спецтехники. А также консультация и техническая поддержка.

Генеральный план завода по выпуску спецтехники представлен на рисунке 1.1.

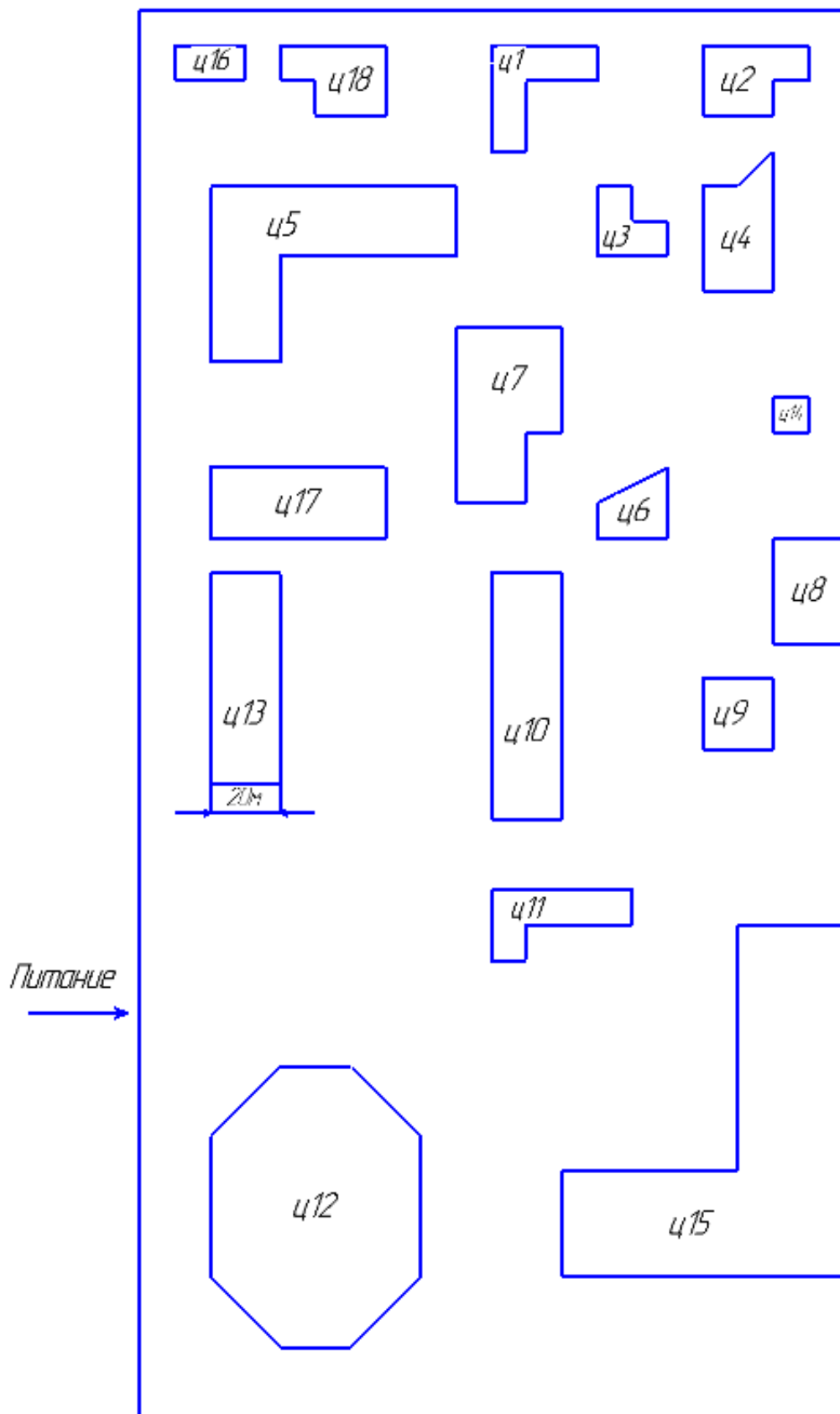


Рисунок 1.1 - Генплан группы цехов завода по выпуску спецтехники  
 Данные по установленной мощности ЭП по каждому цеху в таблице

1.1.

Таблица 1.1 – Данные по установленной мощности ЭПо цехам предприятия

№ п/п	Наименование цеха, отделения, участка	Установленная мощность $P_{H}$ электроприемников напряжением 0,4кВ, кВт	Приведенное число электроприемников, $n_3$
1	Гараж внутризаводского транспорта	35	20
2	Поликлиника	60	4
3	Медпункт	30	4
4	Склады механосборочного корпуса	90	14
5	Механосборочный корпус	3725	74
6	Заводоуправление	950	39
7	Электроремонтный. цех	3200	10
8	Проходная	10	4
9	Типография	35	20
10	Котельная	210	11
11	Компрессорная	490	15
12	Литейный цех серого чугуна	2100	10
13	Склад шихты и формовочных материалов	75	15
14	Градирня	40	2
15	Прессовый корпус	3000	121
16	Насосная хозяйственного и питьевого водопровода	525	9
17	Отделение и склад деревянных моделей	130	28
18	Столовая	225	15

Данные высоковольтных ЭП в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Данные высоковольтных электроприемников

№ п/п	Наименование цеха, отделения, участка	Вид высоковольтных электроприемников	Установленная мощность одного электроприемника, кВт	Кол-во электроприемников	Напряжение электроприемников, кВ
10	Котельная	Синхронные СД	630	2	6
11	Компрессорная станция	Синхронные СД	800	4	6
12	Литейный цех серого чугуна	Электрические печи	630 кВА	4	6



## 2 Расчет электрических нагрузок

Расчет нагрузки цехов 0,4 кВ.

Выбираем коэффициент использования и коэффициент полезной мощности по справочным данным.

$$K_{И} = 0,2 \dots 0,9 \quad (2.1)$$

$$\cos \varphi = 0,5 \dots 0,9 \quad (2.2)$$

Определим средние за наиболее загруженную смену активные и реактивные электрические нагрузки по формулам 2.3 и 2.4:

$$P_{С} = K_{И} \cdot P_{Н} \quad (2.3)$$

$$Q_{С} = K_{И} \cdot P_{Н} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.4)$$

Рассчитаем средние активных нагрузок  $P_{С}$  для каждого цеха.

Формула (2.3)

$$P_{С1} = 35 \cdot 0,2 = 7 \text{ кВт};$$

$$P_{С2} = 60 \cdot 0,1 = 12 \text{ кВт};$$

$$P_{С3} = 30 \cdot 0,2 = 6 \text{ кВт};$$

$$P_{С4} = 90 \cdot 0,2 = 18 \text{ кВт};$$

$$P_{С5} = 3725 \cdot 0,4 = 1490 \text{ кВт};$$

$$P_{С6} = 950 \cdot 0,5 = 475 \text{ кВт};$$

$$P_{С7} = 3200 \cdot 0,4 = 1280 \text{ кВт};$$

$$P_{С8} = 10 \cdot 0,3 = 3 \text{ кВт};$$

$$P_{С9} = 35 \cdot 0,4 = 14 \text{ кВт};$$

$$P_{С10} = 210 \cdot 0,6 = 126 \text{ кВт};$$

$$P_{С11} = 490 \cdot 0,8 = 392 \text{ кВт};$$

$$P_{С12} = 2100 \cdot 0,6 = 1260 \text{ кВт};$$

$$P_{С13} = 75 \cdot 0,4 = 30 \text{ кВт};$$

$$P_{C14} = 40 \cdot 0,6 = 24 \text{ кВт};$$

$$P_{C15} = 3000 \cdot 0,6 = 1800 \text{ кВт};$$

$$P_{C16} = 525 \cdot 0,8 = 420 \text{ кВт};$$

$$P_{C17} = 130 \cdot 0,2 = 26 \text{ кВт};$$

$$P_{C18} = 225 \cdot 0,5 = 112,5 \text{ кВт};$$

Расчет средние реактивных нагрузок  $Q_C$  для каждого цеха.

Формула (2.4)

$$Q_{C1} = 7 \cdot 1,02 = 7,14 \text{ квар};$$

$$Q_{C2} = 12 \cdot 2,29 = 27,48 \text{ квар};$$

$$Q_{C3} = 6 \cdot 1,73 = 10,38 \text{ квар};$$

$$Q_{C4} = 18 \cdot 1,33 = 23,94 \text{ квар};$$

$$Q_{C5} = 1490 \cdot 1,33 = 1981,7 \text{ квар};$$

$$Q_{C6} = 475 \cdot 1,02 = 484,5 \text{ квар};$$

$$Q_{C7} = 1280 \cdot 1,33 = 1702,4 \text{ квар};$$

$$Q_{C8} = 3 \cdot 1,73 = 5,19 \text{ квар};$$

$$Q_{C9} = 14 \cdot 1,33 = 18,62 \text{ квар};$$

$$Q_{C10} = 126 \cdot 0,88 = 110,88 \text{ квар};$$

$$Q_{C11} = 392 \cdot 0,75 = 294 \text{ квар};$$

$$Q_{C12} = 1260 \cdot 1,02 = 1285,2 \text{ квар};$$

$$Q_{C13} = 30 \cdot 1,02 = 30,6 \text{ квар};$$

$$Q_{C14} = 24 \cdot 0,48 = 11,52 \text{ квар};$$

$$Q_{C15} = 1800 \cdot 0,75 = 1350 \text{ квар};$$

$$Q_{C16} = 420 \cdot 0,75 = 315 \text{ квар};$$

$$Q_{C17} = 26 \cdot 1,33 = 34,58 \text{ квар};$$

$$Q_{C18} = 112,5 \cdot 1,02 = 114,75 \text{ квар};$$

Выбираем расчетный коэффициент и количество эффективных ЭП:

$$K_P = f(K_{И}; n_{Э}) \quad (2.5)$$

Используя расчетный коэффициент и количество эффективных ЭП, находим расчетные активную и реактивную мощности по формулам 2.6, 2.7 и 2.8:

$$P_P = K_P \cdot P_C \quad (2.6)$$

$$Q_P = 1,1 \cdot Q_C \text{ при } n_{Э} \leq 10 \quad (2.7)$$

$$Q_P = Q_C \text{ при } n_{Э} > 10 \quad (2.8)$$

$$S_P = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.9)$$

Расчет  $P_P$  для каждого цеха. Формула (2.6)

$$P_{P1} = 7 \cdot 0,8 = 5,6 \text{ кВт};$$

$$P_{P2} = 12 \cdot 1,46 = 17,52 \text{ кВт};$$

$$P_{P3} = 6 \cdot 1,46 = 8,76 \text{ кВт};$$

$$P_{P4} = 18 \cdot 0,9 = 16,2 \text{ кВт};$$

$$P_{P5} = 1490 \cdot 0,8 = 1192 \text{ кВт};$$

$$P_{P6} = 475 \cdot 0,85 = 403,75 \text{ кВт};$$

$$P_{P7} = 1280 \cdot 0,9 = 1152 \text{ кВт};$$

$$P_{P8} = 3 \cdot 1,19 = 3,57 \text{ кВт};$$

$$P_{P9} = 14 \cdot 0,9 = 12,6 \text{ кВт};$$

$$P_{P10} = 126 \cdot 0,9 = 113,4 \text{ кВт};$$

$$P_{P11} = 392 \cdot 0,9 = 352,8 \text{ кВт};$$

$$P_{P12} = 1260 \cdot 0,9 = 1134 \text{ кВт};$$

$$P_{P13} = 30 \cdot 0,9 = 27 \text{ кВт};$$

$$P_{P14} = 24 \cdot 1 = 24 \text{ кВт};$$

$$P_{P15} = 1800 \cdot 0,8 = 1440 \text{ кВт};$$

$$P_{P16} = 420 \cdot 0,9 = 378 \text{ кВт};$$

$$P_{P17} = 26 \cdot 0,85 = 22,1 \text{ кВт};$$

$$P_{P18} = 112,5 \cdot 0,9 = 101,25 \text{ кВт};$$

Расчет  $Q_p$  для каждого цеха. Формула (2.7).

$$Q_{P1} = 7,14 \text{ квар};$$

$$Q_{P2} = 1,1 \cdot 27,48 = 30,22 \text{ квар};$$

$$Q_{P3} = 1,1 \cdot 10,38 = 11,41 \text{ квар};$$

$$Q_{P4} = 23,94 \text{ квар};$$

$$Q_{P5} = 1981,7 \text{ квар};$$

$$Q_{P6} = 484,5 \text{ квар};$$

$$Q_{P7} = 1,1 \cdot 1702,4 = 1872,64 \text{ квар};$$

$$Q_{P8} = 1,1 \cdot 5,19 = 5,7 \text{ квар};$$

$$Q_{P9} = 18,62 \text{ квар};$$

$$Q_{P10} = 110,88 \text{ квар};$$

$$Q_{P11} = 294 \text{ квар};$$

$$Q_{P12} = 1,1 \cdot 1285,2 = 1413,7 \text{ квар};$$

$$Q_{P13} = 30,6 \text{ квар};$$

$$Q_{P14} = 1,1 \cdot 11,52 = 12,67 \text{ квар};$$

$$Q_{P15} = 1350 \text{ квар};$$

$$Q_{P16} = 1,1 \cdot 315 = 346,5 \text{ квар};$$

$$Q_{P17} = 34,58 \text{ квар};$$

$$Q_{P18} = 114,75 \text{ квар};$$

Расчет  $S_p$  для каждого цеха. Формула (2.9).

$$S_{P1} = \sqrt{5,6^2 + 7,14^2} = 9,07 \text{ кВт};$$

$$S_{P2} = \sqrt{17,52^2 + 30,22^2} = 34,9 \text{ кВт};$$

$$S_{P3} = \sqrt{8,76^2 + 11,41^2} = 14,3 \text{ кВт};$$

$$\begin{aligned}
S_{P4} &= \sqrt{16,2^2 + 23,94^2} = 28,9 \text{ кВт}; \\
S_{P5} &= \sqrt{1192^2 + 1918,7^2} = 2312,5 \text{ кВт}; \\
S_{P6} &= \sqrt{403,75^2 + 484,5^2} = 630,6 \text{ кВт}; \\
S_{P7} &= \sqrt{1152^2 + 1872,4^2} = 2198,4 \text{ кВт}; \\
S_{P8} &= \sqrt{3,57^2 + 5,7^2} = 6,7 \text{ кВт}; \\
S_{P9} &= \sqrt{12,6^2 + 18,62^2} = 22,4 \text{ кВт}; \\
S_{P10} &= \sqrt{113,4^2 + 110,88^2} = 158,5 \text{ кВт}; \\
S_{P11} &= \sqrt{352,8^2 + 294^2} = 459,2 \text{ кВт}; \\
S_{P12} &= \sqrt{1134^2 + 1413,7^2} = 1812,3 \text{ кВт}; \\
S_{P13} &= \sqrt{27^2 + 30,6^2} = 40,8 \text{ кВт}; \\
S_{P14} &= \sqrt{24^2 + 12,67^2} = 27,1 \text{ кВт}; \\
S_{P15} &= \sqrt{1440^2 + 1350^2} = 1973,8 \text{ кВт}; \\
S_{P16} &= \sqrt{378^2 + 346,5^2} = 512,7 \text{ кВт}; \\
S_{P17} &= \sqrt{22,1^2 + 34,58^2} = 41,03 \text{ кВт}; \\
S_{P18} &= \sqrt{101,25^2 + 114,75^2} = 153,03 \text{ кВт};
\end{aligned}$$

После этого определим итоги по нагрузке 0,4 кВ. Находим суммарное значение ЭП ( $n_{\text{Э}}$ ), номинальной активной мощности, средней активной и реактивной мощности, и расчетные активные и реактивные мощности.

$$\begin{aligned}
n_{\text{Э}} &= 20 + 4 + 4 + 14 + 74 + 39 + 10 + 4 + 20 + 11 + 15 + 10 + 15 + 2 + \\
&\quad + 121 + 9 + 28 + 15 = 415;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Sigma P_C &= 7 + 12 + 6 + 18 + 1490 + 475 + 1280 + 3 + 14 + 126 + 392 + 1260 + \\
&\quad + 30 + 24 + 1800 + 420 + 26 + 112,5 = 7495,5 \text{ кВт};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Sigma Q_C &= 7,14 + 27,48 + 10,38 + 23,94 + 1981,7 + 484,5 + 1702,4 + 5,19 + \\
&18,62 + 110,88 + 294 + 1285,2 + 30,6 + 11,52 + 1350 + 315 + 34,58 + 114,75 = \\
&= 7807,2 \text{ квар};
\end{aligned}$$

$$\sum P_p = 5,6 + 17,52 + 8,76 + 16,2 + 1192 + 403,75 + 1152 + 3,57 + 12,6 + 113,4 + 352,8 + 1134 + 27 + 24 + 1440 + 378 + 22,1 + 101,25 = 6404,5 \text{ кВт};$$

$$\begin{aligned} \sum Q_p &= 7,14 + 30,22 + 11,41 + 23,94 + 1981,7 + 484,5 + 1872,64 + 5,7 + \\ &18,62 + 110,88 + 294 + 1413,7 + 30,6 + 12,67 + 1350 + 346,5 + 34,58 + 114,75 = \\ &= 8143,5 \text{ квар}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum P_H &= 35 + 60 + 30 + 90 + 3725 + 950 + 3200 + 10 + 35 + 210 + 490 + \\ &+ 2100 + 75 + 40 + 3000 + 525 + 130 + 225 = 14927 \text{ кВт}; \end{aligned}$$

По суммарному значению находим коэффициент использования и  $\text{tg } \varphi$  для всей НН, по формулам 2.10 и 2.11

$$K_{\text{И}} = \frac{\sum P_c}{\sum P_H} \quad (2.10)$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{\sum Q_c}{\sum P_H} \quad (2.11)$$

$$K_{\text{И}} = \frac{7495,5}{14927} = 0,5$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{7807,2}{14927} = 0,53$$

Суммарная полная мощность находится по формуле:

$$\sum S_p = \sqrt{\sum P_p^2 + \sum Q_p^2} \quad (2.12)$$

Расчет суммарной мощности по нагрузке 0,4 кВ. По формуле (2.12)

$$\sum S_p = \sqrt{6404,5^2 + 8143,5^2} = 10360,2 \text{ кВт};$$

Расчет высоковольтной нагрузки 6-10 кВ.

Найдем номинальную суммарную мощность высоковольтной нагрузки.

$$\sum P_{H_{10}} = 630 \cdot 2 = 1260 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{H_{11}} = 800 \cdot 4 = 3200 \text{ кВт};$$

$$\sum P_{H_{12}} = 630 \cdot 4 = 2520 \text{ кВт};$$

Рассчитаем среднесменную активную нагрузку. Формула (2.3)

$$P_{C_{10}} = 260 \cdot 0,8 = 1008 \text{ кВт};$$

$$P_{C_{11}} = 3200 \cdot 0,8 = 2560 \text{ кВт};$$

$$P_{C_{12}} = 520 \cdot 0,8 = 2016 \text{ кВт};$$

Рассчитаем среднесменную реактивную нагрузку. Формула (2.4)

Синхронные двигатели используют для компенсации реактивной мощности, поэтому записываем реактивную мощность с отрицательным знаком.

$$Q_{C_{10}} = 1008 \cdot (-0,48) = -531,84 \text{ квар};$$

$$Q_{C_{11}} = 2560 \cdot (-0,48) = -1228,8 \text{ квар};$$

$$Q_{C_{12}} = 2016 \cdot (-0,48) = -967,68 \text{ квар};$$

Расчет итогов для высоковольтной нагрузки 6-10 кВ.

Найдем суммарное количество электроприемников:

$$n_{\Sigma} = 2 + 4 + 4 = 10;$$

Найдем номинальную суммарную мощность высоковольтной нагрузки

$$\sum P_H = 1260 + 3200 + 2520 = 6980 \text{ кВт};$$

Рассчитаем суммарную среднесменную активную нагрузку.

$$\sum P_C = 1008 + 2560 + 2016 = 5584 \text{ кВт};$$

Рассчитаем суммарную среднесменную реактивную нагрузку.

$$\sum Q_C = (-531,84) + (-1228,8) + (-967,68) = -2728,32 \text{ квар};$$

По суммарному значению находим коэффициент использования и  $\text{tg } \varphi$  для всей высоковольтной нагрузки по формулам 2.10 и 2.11

$$K_{\text{И}} = \frac{5584}{6980} = 0,8;$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{2728,32}{6980} = 0,4;$$

Расчет суммарной мощности по нагрузке 6-10 кВ. По формуле (2.12)

$$\sum S_P = \sqrt{5584^2 + 2728,32^2} = 6214,88 \text{ кВт};$$

Найдем коэффициент одновременности исходя из количества высоковольтного оборудования и общего коэффициента использования по справочнику.

Находим расчетные активную и реактивную мощности по формулам 2.13 и 2.14:

$$P_P = K_O \cdot P_C \quad (2.13)$$

$$Q_P = K_O \cdot Q_C \quad (2.14)$$

$$P_P = 0,95 \cdot 5584 = 5304,8 \text{ кВт};$$

$$Q_P = 0,95 \cdot 2728,32 = 2591,9 \text{ квар};$$

Найдем суммарные расчетные нагрузки по заводу в целом.

Расчет номинальной активной мощности по заводу.



$$\sum P_{H,3} = 14927 + 6980 = 21907 \text{ кВт};$$

Расчет итоговой средне активной нагрузки по заводу.

$$\sum P_{C,3} = 7495,5 + 5584 = 13079,5 \text{ кВт};$$

Расчет итоговой средне реактивной нагрузки по заводу.

$$\sum Q_{C,3} = 7807,2 - 2728,32 = 5078,88 \text{ квар};$$

Найдем расчетную активную мощность по заводу.

$$\sum P_{P,3} = 6404,5 + 5304,8 = 11709,3 \text{ кВт};$$

Найдем расчетную реактивную мощность по заводу.

$$\sum Q_{P,3} = 8143,5 - 2591,9 = 5551,6 \text{ квар};$$

Суммарная полная мощность по заводу. Формула (2.12).

$$\sum S_{P,3} = \sqrt{11709,3^2 + 5551,6^2} = 12959,2 \text{ кВт};$$

Найдем итоговое количество электроприемников по заводу.

$$n_{\text{э}} = 415 + 5 = 420;$$

Расчеты произведены, итоги расчетов сводим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Нагрузки по предприятию

№	Название цеха	РН, кВт	nЭ	ΣРН, кВт	КИ	cos φ	tg φ	РС, кВт	QC, квар	КР / КО	РР, кВт	QR, квар	SP, кВА
Нагрузка 0,4 кВ													
1	Гараж внутризаводского транспорта	-	20	35	0,2	0,7	1,02	7	7,14	0,8/-	5,6	7,14	9,07
2	Поликлиника	-	4	60	0,2	0,4	2,29	12	27,48	1,46/-	17,52	30,22	34,9
3	Медпункт	-	4	30	0,2	0,5	1,73	6	10,38	1,46/-	8,76	11,41	14,3
4	Склады механосбо- рочного корпуса	-	14	90	0,2	0,6	1,33	18	23,94	0,9/-	16,2	23,94	28,9
5	Механосборочны й корпус	-	74	3725	0,4	0,6	1,33	1490	1981,7	0,8/-	1192	1981,7	2312,5
6	Заводоуправление	-	39	950	0,5	0,7	1,02	475	484,5	0,85/-	403,75	484,5	630,6
7	Электрорем. цех	-	10	3200	0,4	0,6	1,33	1280	1702,4	0,9/-	1152	1872,64	2198,4
8	Проходная	-	4	10	0,3	0,5	1,73	3	5,19	1,19/-	3,57	5,7	6,7
9	Типография	-	20	35	0,4	0,6	1,33	14	18,62	0,9/-	12,6	18,62	22,4
10	Котельная	-	11	210	0,6	0,75	0,88	126	110,88	0,9/-	113,4	110,88	158,5
11	Компрессорная	-	15	490	0,8	0,8	0,75	392	294	0,9/-	352,8	294	459,2
12	Литейный цех серого чугуна	-	10	2100	0,6	0,7	1,02	1260	1285,2	0,9/-	1134	1413,7	1812,3

Продолжение таблицы 2.1

13	Склад шихты и формовочных материалов	-	15	75	0,4	0,7	1,02	30	30,6	0,9/-	27	30,6	40,8
14	Градирня	-	2	40	0,6	0,9	0,48	24	11,52	1/-	24	12,67	27,1
15	Прессовый корпус	-	121	3000	0,6	0,8	0,75	1800	1350	0,8/-	1440	1350	1973,8
16	Насосная хозяйственного и питьевого водопровода	-	9	525	0,8	0,8	0,75	420	315	0,9/-	378	346,5	512,7
17	Отделение и склад деревянных моделей	-	28	130	0,2	0,6	1,33	26	34,58	0,85/-	22,1	34,58	41,03
18	Столовая	-	15	225	0,5	0,7	1,02	112,5	114,75	0,9/-	101,25	114,75	153,03
ИТОГО		-	415	14927	0,53	-	0,53	7495,5	7807,2	-	6404,5	8143,5	10360,2
<b>Нагрузка 6-10 кВ</b>													
10	Котельная	630	2	1260	0,8	0,75	-0,48	1008	-531,84	-	-	-	-
11	Компрессорная	800	4	3200	0,8	0,8	-0,48	2560	-1228,8	-	-	-	-
12	Литейный цех серого чугуна	630	4	2520	0,8	0,8	-0,48	1512	-967,68	-	-	-	-
ИТОГО		-	10	6980	0,8	-	-0,48	4828	-2728,32	- / 0,95	5304,8	-2591,9	6214,8
<b>Вся нагрузка</b>													
ИТОГО		-	425	21907	0,56	-	0,32	13079,5	5078,88	-	11769,3	5551,6	12959,2

### **3 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций. Выбор компенсирующих установок**

Количество трансформаторов питающих линий определяется в зависимости от категории надежности электроснабжения.

Категории надежности электроснабжения потребителей и площадь ( $m^2$ ) цехов.

- 1) Гараж внутризаводского транспорта - 3, (  $500m^2$ ).
- 2) Поликлиника - 1, (  $500 m^2$ ).
- 3) Медпункт - 1, (  $300 m^2$ ).
- 4) Склады механосборочного корпуса -2, (  $650 m^2$ ).
- 5) Механосборочный корпус - 2, (  $2000 m^2$ ).
- 6) Заводоуправление - 2, (  $350 m^2$ ).
- 7) Электрорем. цех - 3, (  $1200 m^2$ ).
- 8) Проходная - 3, (  $600 m^2$ ).
- 9) Типография - 3, (  $400 m^2$  ).
- 10) Котельная - 1, (  $1400 m^2$  ).
- 11) Компрессорная - 2, (  $500 m^2$  ).
- 12) Литейный цех серого чугуна - 1, (  $4000 m^2$ ).
- 13) Склад шихты и формовочных материалов - 2, (  $1200 m^2$ ).
- 14) Градирня - 2, (  $100 m^2$ ).
- 15) Прессовый корпус - 1, (  $5100 m^2$ ).
- 16) Насосная хозяйственного и питьевого водопровода - 3, (  $200 m^2$ ).
- 17) Отделение и склад деревянных моделей - 2, (  $1000 m^2$ ).
- 18) Столовая - 3, (  $450 m^2$  ).

Исходя из данных в проекте будем использовать двухтрансформаторные подстанции.

Для выбора номинальной мощности трансформаторов обращают на расчетную нагрузку, сколько часов используется при максимальной

нагрузки, а также перспективы развития.

Перед тем как определить мощность силовых трансформаторов нужно выбрать компенсационные установки.

Изучим расположение цехов относительно друг друга, а также их нагрузки.

Рассмотрим и сгруппируем цеха:

1) Цеха 1, 2, 3, 4 имеют очень малые нагрузки поэтому объединим их с цехами 16, 18 - рассчитаем общецеховую ПС.

2) Цеха 8, 9, 14 имеют очень малые нагрузки поэтому объединим их с цехами 6, 10, 11 - рассчитаем общецеховую ПС.

3) Цеха 13, 17 имеют очень малые нагрузки поэтому объединим их с цехом 5 - который находится на небольшом расстоянии от них, и рассчитаем общецеховую ПС.

4) Цех 7 имеет большую нагрузку, для него рассчитаем отдельную цеховую ПС.

5) Цех 12 имеет большую нагрузку, для него рассчитаем отдельную цеховую ПС.

6) Цех 15 имеет большую нагрузку, для него рассчитаем отдельную цеховую ПС.

Перейдем к расчетам.

Мощность КУ 0,4 кВ по находится по формуле 3.1:

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg\varphi - tg\varphi_{к.р.}) \quad (3.1)$$

где  $Q_{к.р}$ - расчетная мощность КУ, квар;

$\alpha$  - коэффициент, учитывающий повышение  $cos\varphi$  естественным способом,  $\alpha = 0,9$ ;

$P_p$ - расчетная активная мощность цеха, кВт;

$tg\varphi, tg\varphi_{к.р.}$ - коэффициенты реактивной мощности.

Компенсацию реактивной мощности производят до получения

значения  $tg\varphi_k = 0,33 \dots 0,48$ .

Рассчитаем расчетную полную мощность цеха с учетом компенсации по формуле 3.2:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + (Q_P - Q_{K.P})^2} \quad (3.2)$$

Найдем плотность электрической нагрузки цеха. Она находится для цехов с большой мощностью по формуле 3.3:

$$\sigma = \frac{S_P}{F_{Ц}} \quad (3.3)$$

где  $\sigma$ – плотность электрической нагрузки цеха(-ов), кВА / м<sup>2</sup>;

$S_P$ – полная расчетная мощность по цеху(-ам) с учетом компенсации, кВА;

$F_{Ц}$ – площадь цеха или группы цехов, м<sup>2</sup>;

После рассчитывается мощность цеховых трансформаторов по формуле 3.4:

$$S_T \geq \frac{S_P}{K_3 \cdot N_T} \quad (3.4)$$

где  $S_T$ – полная мощность одного трансформатора, кВА;

$S_P$ – полная расчетная мощность по цеху(-ам) с учетом компенсации, кВА;

$K_3$ – коэффициент загрузки трансформатора из справочных данных;

$N_T$ – количество трансформаторов в цеховой ПС из справочных данных

Расчетная мощность трансформатора округляется до ближайшей стандартной мощности по шкале: ГОСТ 11920 – 85, ГОСТ 12965 –85.

Расчеты 1 группы цехов.

Рассчитаем суммарную расчетную активную и реактивную мощности по формулам:

$$\sum P_P = P_{P1} + P_{P2} + P_{P3} + P_{P4} + P_{P16} + P_{P18};$$

$$\sum Q_P = Q_{P1} + Q_{P2} + Q_{P3} + Q_{P4} + Q_{P16} + Q_{P18};$$

$$\sum P_P = 5,6 + 17,52 + 8,76 + 16,2 + + 378 + 101,25 = 527,33 \text{ кВт};$$

$$\sum Q_P = 7,14 + 30,22 + 11,41 + 23,94 + + 346,5 + 114,75 = 533,45 \text{ кВт};$$

Определим  $\text{tg } \varphi$  для цехов, используя среднесменные мощности по формуле:

$$\text{tg } \varphi = \frac{Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3} + Q_{C4} + Q_{C16} + Q_{C18}}{P_{C1} + P_{C2} + P_{C3} + P_{C4} + P_{C16} + P_{C18}};$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{7,14 + 27,48 + 10,38 + 29,94 + 315 + 114,75}{7 + 12 + 6 + 18 + 420 + 112,5} = 0,87;$$

Рассчитаем мощность КУ 0,4 кВ по формуле 3.1:

$$Q_{\text{к.р}} = 0,9 \cdot 527,33 \cdot (0,87 - 0,33) = 256,2 \text{ квар};$$

Округлим -  $Q_{\text{к.р}} = 250$  квар.

Так как в группе есть цеха с первой категорией надежности, то ЦТП будет с двумя трансформаторами и КУ. КУ - АУКРМ-125-0,4.

Рассчитаем расчетную полную мощность цеха с учетом компенсации по формуле 3.2:

$$S_P = \sqrt{527,33^2 + (533,45 - 250)^2} = 598,68 \text{ кВа};$$

Плотность электрической нагрузки не рассчитываем т.к. суммарная мощность цехов небольшая.

Далее вычислим мощность цеховых трансформаторов по формуле 3.4:

$$S_T \geq \frac{598,68}{0,7 \cdot 2} = 427,62 \text{ кВА};$$

Выбираем трансформаторы мощностью 450 кВА.

Расчеты 2 группы цехов.

Рассчитаем суммарную расчетную активную и реактивную мощности по формулам:

$$\sum P_P = P_{P6} + P_{P8} + P_{P9} + P_{P10} + P_{P11} + P_{P14};$$

$$\sum Q_P = Q_{P6} + Q_{P8} + Q_{P9} + Q_{P10} + Q_{P11} + Q_{P14};$$

$$\sum P_P = 403,75 + 3,57 + 12,6 + + 113,4 + 352,8 + 24 = 910,12 \text{ кВт};$$

$$\sum Q_P = 484,5 + 5,7 + 18,62 + 110,88 + 294 + 12,67 = 926,37 \text{ кВт};$$

Определим  $\text{tg } \varphi$  для цехов, используя среднесменные мощности по формуле:

$$\text{tg } \varphi = \frac{Q_{C6} + Q_{C8} + Q_{C9} + Q_{C10} + Q_{C11} + Q_{C14}}{P_{C6} + P_{C8} + P_{C9} + P_{C10} + P_{C11} + P_{C14}};$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{5,19 + 18,62 + 11,52 + 294 + 110,88 + 484,5}{3 + 14 + 24 + 475 + 126 + 392} = 0,8;$$

Рассчитаем мощность КУ 0,4 кВ по формуле 3.1:

$$Q_{К.Р} = 0,9 \cdot 910,12 \cdot (0,8 - 0,33) = 384,98 \text{ квар};$$

Округлим - КУ  $Q_{К.Р} = 400$  квар.

Так как в группе есть цеха с первой категорией надежности, то ЦТП будет с двумя трансформаторами и КУ. КУ - АУКРМ-200-0,4.

Рассчитаем расчетную полную мощность цеха с учетом компенсации



по формуле 3.2:

$$S_p = \sqrt{910,12^2 + (926,37 - 400)^2} = 1051,37 \text{ кВа};$$

Найдем плотность электрической нагрузки по формуле 3.3.

$$\sigma = \frac{1051,37}{3350} = 0,31 \frac{\text{кВа}}{\text{м}^2};$$

Максимальную мощность трансформаторов по справочным данным равна 2500 кВА.

Далее вычислим мощность цеховых трансформаторов по формуле 3.4:

$$S_T \geq \frac{1051,37}{0,8 \cdot 2} = 657,1 \text{ кВА};$$

Выбираем трансформаторы мощностью 750 кВА.

Расчеты 3 группы цехов.

Рассчитаем суммарную расчетную активную и реактивную мощности по формулам:

$$\sum P_p = P_{P5} + P_{P13} + P_{P17};$$

$$\sum Q_p = Q_{P5} + Q_{P13} + Q_{P17};$$

$$\sum P_p = 27 + 22,1 + 1192 = 1231,1 \text{ кВт};$$

$$\sum Q_p = 30,6 + 34,58 + 1981,7 = 2046,88 \text{ кВт};$$

Определим  $\text{tg } \varphi$  для цехов, используя среднесменные мощности по формуле:

$$\text{tg } \varphi = \frac{Q_{C5} + Q_{C13} + Q_{C17}}{P_{C5} + P_{C13} + P_{C17}};$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{30,6 + 34,58 + 1981,7}{30 + 26 + 1490} = 1,3;$$

Рассчитаем мощность КУ 0,4 кВ по формуле 3.1:

$$Q_{\text{к.р}} = 0,9 \cdot 1231,1 \cdot (1,3 - 0,33) = 1074,7 \text{ квар};$$

Округлим -  $Q_{\text{к.р}} = 1100$  квар.

Так как в группе есть цеха с первой категорией надежности, то ЦТП будет с двумя трансформаторами и КУ. КУ - АУКРМ-550-0,4.

Рассчитаем расчетную полную мощность цеха с учетом компенсации по формуле 3.2:

$$S_p = \sqrt{1231,1^2 + (2046,88 - 550)^2} = 1938,1 \text{ кВа};$$

Найдем плотность электрической нагрузки по формуле 3.3.

$$\sigma = \frac{1938,1}{3350} = 0,46 \frac{\text{кВа}}{\text{м}^2};$$

Максимальную мощность трансформаторов по справочным данным равна 2500 кВА.

Плотность электрической нагрузки не рассчитываем т.к. суммарная мощность цехов небольшая.

Далее вычислим мощность цеховых трансформаторов по формуле 3.4:

$$S_T \geq \frac{1938,1}{0,8 \cdot 2} = 1211,3 \text{ кВА};$$

Выбираем трансформаторы мощностью 1250 кВА.

Расчеты 4 группы цехов.

Рассчитывается мощность КУ на напряжение 0,4 кВ по формуле 3.1:

$$Q_{к.р} = 0,9 \cdot 1152 \cdot (1,33 - 0,33) = 1036,8 \text{ квар};$$

Округлим до ближайшего номинального значения мощности КУ  $Q_{к.р} = 1000$  квар.

Так как цех третьей категорией надежности, ЦТП будет с одним трансформатором и КУ. КУ -1000-0,4.

Рассчитаем расчетную полную мощность цеха с учетом компенсации по формуле 3.2:

$$S_p = \sqrt{1152^2 + (1872,64 - 1000)^2} = 1445,2 \text{ кВа};$$

Найдем плотность электрической нагрузки по формуле 3.3.

$$\sigma = \frac{1445,2}{1200} = 1,2 \frac{\text{кВа}}{\text{м}^2};$$

Максимальную мощность трансформаторов по справочным данным равна 2500 кВА.

Далее вычислим мощность цехового трансформатора по формуле 3.4:

$$S_T \geq \frac{1445,2}{0,9 \cdot 1} = 1596,2 \text{ кВА};$$

Выбираем трансформаторы мощностью 1600 кВА.

Расчеты 5 группы цехов.

Рассчитывается мощность КУ на напряжение 0,4 кВ по формуле 3.1:

$$Q_{к.р} = 0,9 \cdot 1134 \cdot (1,33 - 0,33) = 1020,6 \text{ квар};$$

Округлим  $Q_{к.р} = 1000$  квар.

Так как в группе есть цеха с первой категорией надежности, то ЦТП будет с двумя трансформаторами и КУ. КУ - АУКРМ-500-0,4.

Рассчитаем расчетную полную мощность цеха с учетом компенсации по формуле 3.2:

$$S_p = \sqrt{1134^2 + (1413,7 - 1000)^2} = 1289,4 \text{ кВа};$$

Найдем плотность электрической нагрузки по формуле 3.3.

$$\sigma = \frac{1289,4}{4000} = 0,32 \frac{\text{кВа}}{\text{м}^2};$$

Максимальную мощность трансформаторов по справочным данным равна 2500 кВА.

Далее вычислим мощность цеховых трансформаторов по формуле 3.4:

$$S_T \geq \frac{1289,4}{0,9 \cdot 2} = 716 \text{кВА};$$

Выбираем трансформаторы мощностью 750 кВА.

Расчеты 6 группы цехов.

Рассчитывается мощность КУ на напряжение 0,4 кВ по формуле 3.1:

$$Q_{к.р} = 0,9 \cdot 1440 \cdot (1,33 - 0,33) = 1296,1 \text{ квар};$$

Округлим  $Q_{к.р} = 1200$  квар.

Так как в группе есть цеха с первой категорией надежности, то ЦТП будет с двумя трансформаторами и КУ. КУ - АУКРМ-600-0,4.

Рассчитаем расчетную полную мощность цеха с учетом компенсации

по формуле 3.2:

$$S_p = \sqrt{1440^2 + (1350 - 1200)^2} = 1447,7 \text{ кВа};$$

Найдем плотность электрической нагрузки по формуле 3.3.

$$\sigma = \frac{1447,7}{2000} = 0,72 \frac{\text{кВа}}{\text{м}^2};$$

Максимальную мощность трансформаторов по справочным данным равна 2500 кВА.

Далее вычислим мощность цеховых трансформаторов по формуле 3.4:

$$S_T \geq \frac{1447,7}{0,7 \cdot 2} = 1034 \text{ кВа};$$

Выбираем трансформаторы мощностью 1100 кВА.

Все данные по расчетам заносятся в таблицу 3.1.

Выводы: выбрали мощность трансформаторных подстанций, тип, число устанавливаемых трансформаторов. Произвели выбор компенсирующих установок.

Таблица 3.1 – Результаты расчетов выбора цеховых трансформаторов и КУ

№	Наименование цехов предприятия	Категория надежности	FЦ, м <sup>2</sup>	б, кВА/м <sup>2</sup>	РР, кВт	QК.Р, квар	QР, квар	SP, кВА	Принято к установке		
									КУ	Ш.Т, кВА	nТ / nКУ
1	Гараж внутризаводского транспорта	3	2600	-	527,33	250	533,45	598,68	АУКРМ-125 0,4	450	2
2	Поликлиника	1									
3	Медпункт	1									
4	Склады механосборочного корпуса	2									
16	Насосная хозяйственного и питьевого водопровода	3									
18	Столовая	3									
6	Заводоуправление	2	3350	0,31	910,12	400	926,37	1051,37	АУКРМ-200 0,4	750	2
8	Проходная	3									
9	Типография	3									
10	Котельная	1									
11	Компрессорная	2									
14	Градирня	2									

Продолжение таблицы 3.1

5	Механосборочный корпус	1	4200	0,48	1231,1	550	2046,88	1938,1	АУКРМ-550-0,4.	1250	2
13	Склад шихты и формовочных материалов	2									
17	Отделение и склад деревянных моделей	2									
7	Электрорем. цех	3	1200	1,2	1152	1000	1872,6	1445,2	АУКРМ-1000 0,4	1600	1
12	Литейный цех серого чугуна	1	4000	0,32	1134	1000	1413,7	1289,4	АУКРМ-500 0,4	750	2
15	Прессовый корпус	1	5100	0,72	1440	600	1200	1447,7	АУКРМ-600 0,4	1100	2
Суммарная полная мощность цехов $\sum SP$ , кВА								7770,45			

#### 4 Определение местоположение ГПП

Составим таблицу 4.1 со всеми ЦТП.

Таблица 4.1 Мощности ЦТП

Наименование Тп	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5	Ц6
№ цехов подключенных к данным цеховым ТП	1,2,3,4, 16,18	6,8,9,10, 11,14	5,13,17	7	12	15
Рр, кВт	527,33	910,12	1231,1	1152	1134	1440
Qр, квар	533,4	926,37	2046,88	1872,6	1413,7	1200

Нанесем генплан на картограмму. Масштаб  $m_{\Gamma} = 20$  м/см.

Определим местоположение ЦТП. Их расположение будет по возможности максимально близко к источнику питания. С учетом того что их расположение находится в рамках своих цехов. Если к ЦТП подключается больше одного цеха, ТП располагаем так, чтобы до каждого цеха было примерно одинаковое расстояние.

Величина ЦТП равна 10x10 метров.

Определить координаты X и Y каждой ЦТП.

Принимаем для наименьшей нагрузки (Цех 1) радиус  $R_{A1} = 10$  м, тогда:

$$m_a = \frac{P_1}{\pi R_{A1}^2} \quad (4.1)$$

$$m_a = \frac{527,33}{3,14 \cdot 10^2} = 1,6 \text{ кВт/м}^2;$$



Принимается  $m_a = 1,5$  кВт/м<sup>2</sup>.

Определяется радиус для наибольшей нагрузки цеховых ТП:

Цех 6:

по формуле:

$$R_{A6} = \sqrt{\frac{P_9}{\pi \cdot m_a}} \quad (4.2)$$

$$R_{A6} = \sqrt{\frac{1440}{3,14 \cdot 1,5}} = 17,5 \text{ м};$$

Значение соответствует масштабам, это значит, оно выбраны верно.

Досчитаем радиусы для остальных цехов.

Цех 2)

$$R_{A2} = \sqrt{\frac{910,12}{3,14 \cdot 1,5}} = 13,9 \text{ м};$$

Цех 3)

$$R_{A3} = \sqrt{\frac{1231,1}{3,14 \cdot 1,5}} = 16,1 \text{ м};$$

Цех 4)

$$R_{A4} = \sqrt{\frac{1152}{3,14 \cdot 1,5}} = 15,6 \text{ м};$$

Цех 5)

$$R_{A5} = \sqrt{\frac{1134}{3,14 \cdot 1,5}} = 15,5 \text{ м};$$

Примем  $m_p = 1$  квар/м<sup>2</sup> и рассчитаем радиусы реактивных мощностей по формуле:

$$R_{Pi} = \sqrt{\frac{Q_i}{\pi m_p}} \quad (4.3)$$

Цех 1)

$$R_{P1} = \sqrt{\frac{533,4}{3,14 \cdot 1}} = 13,03 \text{ м};$$

Цех 2)

$$R_{P2} = \sqrt{\frac{926,37}{3,14 \cdot 1}} = 17,1 \text{ м};$$

Цех 3)

$$R_{P3} = \sqrt{\frac{2046,88}{3,14 \cdot 1}} = 25,5 \text{ м};$$

Цех 4)

$$R_{P4} = \sqrt{\frac{1872,2}{3,14 \cdot 1}} = 24,4 \text{ м};$$

Цех 5)

$$R_{P5} = \sqrt{\frac{1413,7}{3,14 \cdot 1}} = 21,2 \text{ м};$$

Цех 6)

$$R_{P6} = \sqrt{\frac{1200}{3,14 \cdot 1}} = 19,5 \text{ м};$$

Составим таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Данные по радиусам мощностей ЦТП

Название цехового ТП	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5	Ц6
X, м	145	205	65	135	85	165
Y, м	385	205	285	285	115	85
Pp, кВт	527,33	910,12	1231,1	1152	1134	1440
R <sub>A</sub> , М	10	13,9	16,1	15,6	15,5	17,5
Qp, квар	533,4	926,37	2046,88	1872,6	1413,7	1200
Rp, м	13	17,1	25,5	24,4	21,2	19,5

Теперь определяются условные ЦЭН активной и реактивной:

$$X_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned}
X_{a0} &= \frac{(527,33 \cdot 145) + (910,12 \cdot 205) + (1231,1 \cdot 65) + (1152 \cdot 135)}{527,33 + 910,12 + 1231,1 + 1152 + 1134 + 1440} + \\
&\quad + \frac{(1134 \cdot 85) + (1440 \cdot 165)}{527,33 + 910,12 + 1231,1 + 1152 + 1134 + 1440} = \\
&= \frac{832567,5}{6394,5} = 130,2 \text{ м}; \\
Y_{a0} &= \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \tag{4.5}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Y_{a0} &= \frac{(527,33 \cdot 385) + (910,12 \cdot 205) + (1231,1 \cdot 285) + (1152 \cdot 285)}{527,33 + 910,12 + 1231,1 + 1152 + 1134 + 1440} + \\
&\quad + \frac{(1134 \cdot 115) + (1440 \cdot 85)}{527,33 + 910,12 + 1231,1 + 1152 + 1134 + 1440} = \\
&= \frac{1321589,5}{6394,5} = 206,6 \text{ м}; \\
X_{p0} &= \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \tag{4.6}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
X_{a0} &= \frac{(533,4 \cdot 145) + (926,37 \cdot 205) + (2046,88 \cdot 65) + (1872,6 \cdot 135)}{533,4 + 926,37 + 2046,88 + 1872,6 + 1413,7 + 1200} + \\
&\quad + \frac{(1413 \cdot 85) + (1200 \cdot 165)}{533,4 + 926,37 + 2046,88 + 1872,6 + 1413,7 + 1200} = \\
&= \frac{971260,3}{7992,9} = 121,5 \text{ м}; \\
Y_{p0} &= \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \tag{4.7}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Y_{a0} &= \frac{(533,4 \cdot 385) + (926,37 \cdot 205) + (2046,88 \cdot 285) + (1872,6 \cdot 285)}{533,4 + 926,37 + 2046,88 + 1872,6 + 1413,7 + 1200} + \\
&\quad + \frac{(1413,7 \cdot 115) + (1200 \cdot 85)}{533,4 + 926,37 + 2046,88 + 1872,6 + 1413,7 + 1200} = \\
&= \frac{1776890,2}{7992,9} = 222,3 \text{ м};
\end{aligned}$$

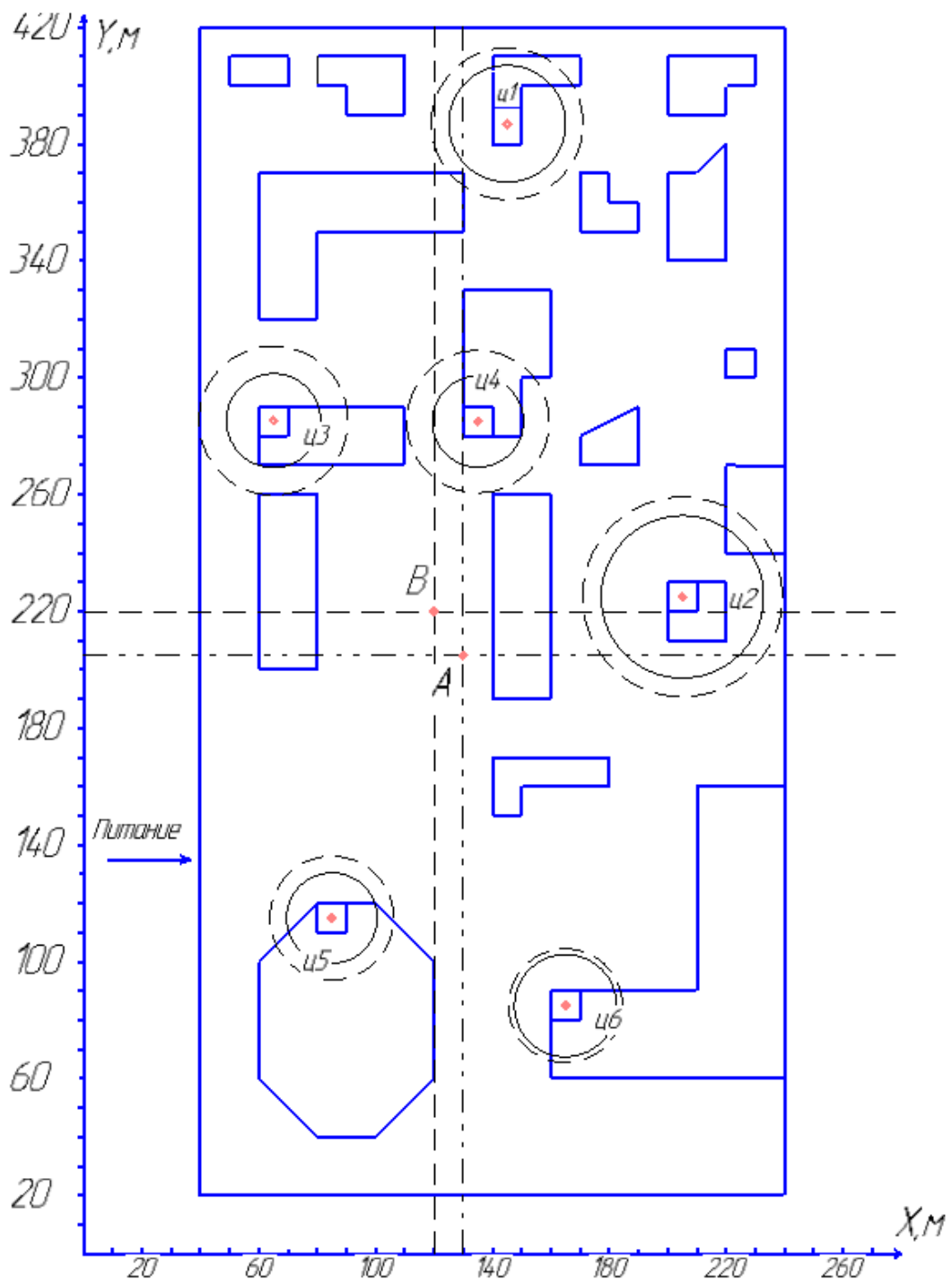


Рисунок 4.1 – Картограмма нагрузок

Выводы: по итогам расчетов:

- Рядом с точкой *A* будет находится ГПП.
- Рядом с точкой *B* будет находится ККУ или СК.

## 5 Выбор типа, числа и мощности трансформаторов ГПП и выбор электрической схемы подстанции

Расчет активных потерь на ЦТ по формуле 5.1:

$$\Delta P_T = \sum S_P \cdot 0,02 \quad (5.1)$$
$$\Delta P_T = 7770,45 \cdot 0,02 = 155,4 \text{ кВт};$$

Расчет суммарной активной мощности завода по формуле 5.2:

$$P_{PI} = P_{PH} + P_{PB} + \Delta P_T \quad (5.2)$$
$$P_{PI} = 6404,5 + 5304,8 + 155,4 = 11864,3 \text{ кВт};$$

Расчет величины рационального напряжения, по формуле Стилла 5.3:

$$U_{PAЦ} = 4,34 \cdot \sqrt{L + 0,016 \cdot P_{PI}} \quad (5.3)$$
$$U_{PAЦ} = 4,34 \cdot \sqrt{10 + 0,016 \cdot 11864,3} = 61,3 \text{ кВ};$$

Питающее напряжение будет 110 кВ.

Расчет экономической целесообразной реактивной мощности, потребляемую из энергосистемы, на стороне ВНГПП по формуле 5.4:

$$Q_{ЭС} = P_{PH} \cdot \text{tg} \varphi_{ЭС} \quad (5.4)$$
$$Q_{ЭС} = 11864,3 \cdot 0,8 = 9491,44 \text{ квар};$$

Найдем полную расчетную мощность завода по формуле 5.5:

$$S_{PI} = \sqrt{P_{PI}^2 + Q_{ЭС}^2} \quad (5.5)$$
$$S_{PI} = \sqrt{11864,3^2 + 9491,44^2} = 15193,71 \text{ кВА};$$

Расчет  $P_{\text{ном}}$  трансформаторов на ГПП по формуле 5.6

$$S_T \geq \frac{S_P \cdot K_{1-2}}{K_{\text{ИЭР}}} \quad (5.6)$$
$$S_T \geq \frac{15193,71 \cdot 0,8}{1,4} = 8682,12 \text{ кВА};$$

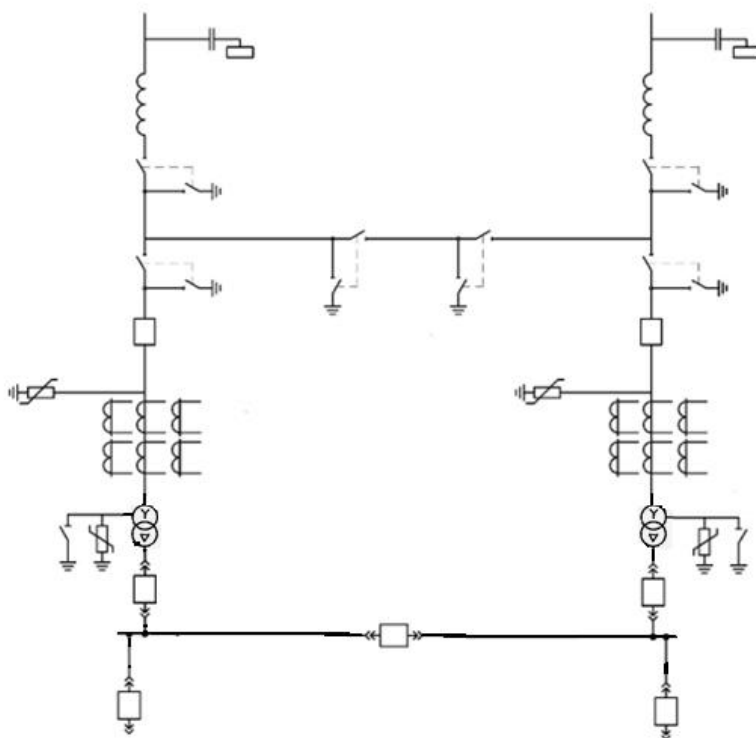


Рисунок 5.1 - Пример электрической схемы ответвленной подстанции

В итоге выбираем для установки на ГПП предприятия 2 трансформатора ТМН - 10000/110/10.

Выводы: принимая во внимания категория потребителей, количество устанавливаемых трансформаторов на подстанции и тип подстанции - ответвленная выбираем схему 4Н – Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий.

## 6 Расчет коротких замыканий

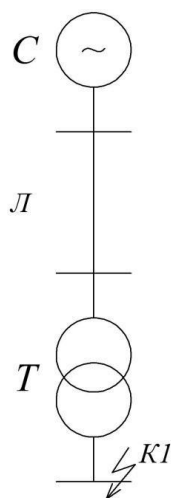


Рисунок 6.1 – Расчетная схема

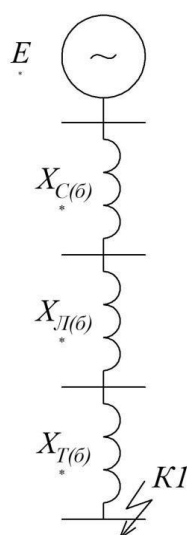


Рисунок 6.2 – Схема замещения

Таблица 6.1 – Паспортные данные трансформатора

Тип	$S_H$ , МВА	Каталожные данные				
		$U_{НОМ}$ , кВ		$U_K$ , %	$P_K$ , кВт	$P_X$ , кВт
		ВН	НН			
ТМН – 10000/110	10	115	10,5	10,5	35	6,5

Дополнительные данные:

$$S_6 = 1000 \text{ МВА};$$



$$U_{\delta} = 10,5 \text{ кВ};$$

$$S_K = 3600 \text{ МВА};$$

$$k_{y\delta} = 1,85;$$

$$x_0 = 0,4 \frac{\text{ОМ}}{\text{км}};$$

$$l = 10 \text{ км};$$

Рассчитаем сопротивления системы по формуле 6.1:

$$x_{*C(\delta)} = \frac{S_{\delta}}{S_K} \quad (6.1)$$

$$x_{*C(\delta)} = \frac{1000}{3600} = 0,28 \text{ о. е.};$$

Рассчитаем сопротивления системы по формуле 6.2:

$$x_{*Л(\delta)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} \quad (6.2)$$

$$x_{*Л(\delta)} = 0,4 \cdot 10 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,3 \text{ о. е.};$$

Рассчитаем сопротивление трансформатора по формуле 6.3.

$$x_{*T(\delta)} = \frac{U_K \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_H} \quad (6.3)$$

$$x_{*T(\delta)} = \frac{10,5 \cdot 1000}{100 \cdot 10} = 10,5 \text{ о. е.};$$

Расчет КЗ замыкания на ВН (точка  $K_1$ ):

Результирующее сопротивление до точки  $K_1$ :

$$X_{*рез(\delta)} = X_{*\delta,с} + X_{*\delta,л} \quad (6.4)$$

$$x_{K1} = 0,28 + 0,3 = 0,58 \text{ о. е.};$$

Базисный ток в точке  $K_1$ :

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}} \quad (6.5)$$

$$I_{\sigma} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5 \text{ кА};$$

Периодическая составляющая тока КЗ К<sub>1</sub> :

$$I_{п,о} = \frac{E''_{*\sigma}}{X_{*рез(\sigma)}} \cdot I_{\sigma} \quad (6.6)$$

где  $E''_{*\sigma}=1$  – среднее значение сверхпереходной ЭДС для энергетической системы, о.е.

$$I_{п,о} = 5 \cdot \frac{1}{0,58} \cdot 54,99 = 8,5 \text{ кА};$$

Ударный ток КЗ К<sub>1</sub>

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п,о} \cdot k_{уд} \quad (6.7)$$

где  $k_{уд}=1,8$  –ударный коэффициент.

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 8,5 \cdot 1,85 = 21,6 \text{ кА};$$

Таблица 6.2 –Токи короткого замыкания ВН К1

Точка	Ударный ток	Периодическая составляющая токаКЗ
К1	21,6 кА	5 кА

Расчет КЗ замыкания на НН (точка К<sub>2</sub>):

Результирующее сопротивление до точки К2

$$X_{К2} = X_{*С(\sigma)} + X_{*Т(\sigma)} \quad (6.8)$$

$$x_{K2} = 0,28 + 0,3 + 10,5 = 11,08 \text{ о. е.}$$

Базисный ток в точке К2, формула (7.5)

$$I_0 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,99 \text{ кА};$$

Периодическая составляющая тока КЗ К2, формула (6.6)

$$I_{П,0} = \frac{1}{11,08} \cdot 54,99 = 4,96 \text{ кА};$$

Ударный ток КЗ К2, формула (6.7)

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 4,96 \cdot 1,85 = 12,97 \text{ кА};$$

Занесем полученные данные в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Токи короткого замыкания НН К2

Точка	Ударный ток	Периодическая составляющая тока КЗ
К2	12,97 кА	4,96 кА

Выводы: значения коротких замыканий для точек К1 и К2 рассчитаны, они составили:

- Ударный ток для точки К1 - 21,6 кА;
- Периодическая составляющая тока КЗ для точки К1 - 5 кА;
- Ударный ток для точки К2 - 12,97 кА;
- Периодическая составляющая тока КЗ для точки К2 - 4,96 кА;

## 7 Выбор и проверка оборудования на высокой стороне 110кВ

Проверяем элегазовый выключатель типа ВГТ-110-10/2000 У1.

Данные технических параметров в таблице 7.1.

Таблица 7.1 - Каталожные данные ВГТ-110-10/2000 У1

$U_{\text{сет.ном}} = 110 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$
$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$
$I_{\text{откл.ном}} = 40 \text{ кА}$
$I_{\text{вкл.ном}} = 40 \text{ кА}$
$i_{\text{а.ном}} = 25,45 \text{ кА}$
$I_{\text{пр.с}} = 40 \text{ кА}$
$i_{\text{пр.с}} = 102 \text{ кА}$
$i_{\text{вкл.ном}} = 102 \text{ кА}$
$B_{\text{квыкл}} = 1,6 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}$

Выключатель выбирается по следующим параметрам:

1) Номинальное напряжение:

$$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ} \leq U_{\text{сет.ном}} = 110 \text{ кВ};$$

2) Номинальный ток по формуле (8.1):

$$I_{\text{max}} < I_{\text{н}} \tag{7.1}$$
$$70,3 \text{ А} < 2000 \text{ А};$$

где

$$I_{\max} = 1,4 \cdot \frac{S_{н.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{сн}} \quad (7.2)$$
$$I_{\max} = 1,4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 70,3 \text{ А};$$

3) Отключающая способность:

Симметричный ток:

$$I_{п,т} = I_{п,0} = 4,96 \text{ кА};$$
$$I_{п,т} = 4,96 \text{ кА} \leq I_{откл.ном} = 40 \text{ кА};$$

Апериодическая составляющая тока по формулам 7.2; 7.3; 7.4:

$$\tau = 0,01 + 0,038 = 0,048 \text{ с};$$
$$I_{а,т} = \sqrt{2} \cdot 4,96 \cdot e^{\frac{0,048}{0,03}} = 1,5 \text{ кА};$$
$$I_{а,ном} = \frac{\sqrt{2} \cdot 45}{100} \cdot 40 = 25,48 \text{ кА};$$
$$I_{а,т} = 1,5 \text{ кА} \leq I_{а,ном} = 25,48 \text{ кА};$$

4) Включающая способность:

$$I_{п,0} = 4,96 \text{ кА} \leq i_{вкл.ном} = 40 \text{ кА};$$
$$i_{уд} = 12,97 \text{ кА} \leq i_{вкл.ном} = 102 \text{ кА};$$

5) Электродинамическая стойкость:

$$I_{п,0} = 4,96 \text{ кА} \leq i_{пр.с} = 20 \text{ кА};$$
$$i_{уд} = 12,97 \text{ кА} \leq i_{пр.с} = 102 \text{ кА};$$

6) Термическая стойкость по формулам 7.5; 7.6:

$$t_{\text{откл}} = 0,01 + 0,055 = 0,065 \text{ с};$$

$$B_{\text{К}} = (4,96 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,065 + 0,03) = 2,4 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с};$$

$$\text{Если } t_{\text{откл}} \geq t_{\text{T}}, \text{ то } B_{\text{К}} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}};$$

$$\text{Если } t_{\text{откл}} \leq t_{\text{T}}, \text{ то } B_{\text{К}} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}};$$

$$t_{\text{откл}} = 0,06 \text{ с} \leq t_{\text{T}} = 3 \text{ с};$$

$$I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = (50 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,065 = 150 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_{\text{К}} = 2,4 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = 150 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с};$$

Выключатель прошел проверку.

Выбор трансформаторов тока

Выбрать трансформатор тока для цепи силового трансформатора на стороне ВН подстанции 110/10кВ. Известно, что номинальная мощность трансформатора  $S_{\text{ном}} = 16000 \text{ кВА}$ ,  $i_{\text{уд}} = 12,97 \text{ кА}$ ,  $I_{\text{п,о}} = 4,96 \text{ кА}$ . Выбираем трансформатор ТОГФ-110.

Паспортные данные ТОГФ-110кВ:

$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$ ;  $I_{1\text{ном}} = 300 \text{ А}$ ;  $I_2 = 3 \text{ А}$ ;  $I_{\text{T}} = 40 \text{ кА}$ ;  $t_{\text{T}} = 3 \text{ с}$ ; номинальная вторичная нагрузка при  $S_2 = 100 \text{ ВА}$ ;  $i_{\text{дин}} = 64 \text{ кА}$ . Технические данные взяты с сайта производителя ЗАО «ЗЭТО» [12].

1) Номинальное напряжение:

$$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ} \leq U_{\text{сет.ном}} = 110 \text{ кВ};$$

2) Номинальный рабочий ток:

$$I_{\text{раб}} = 52,4 \leq I_{1\text{ном}} = 300 \text{ А};$$

3) Термическая стойкость:

$$t_{\text{откл}} = 0,06 \text{ с}; B_{\text{К}} = 2,4 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с};$$

$$\begin{aligned} \text{Если } t_{\text{откл}} \geq t_T, \text{ то } B_K &\leq I_T^2 \cdot t_T; \\ \text{Если } t_{\text{откл}} \leq t_T, \text{ то } B_K &\leq I_T^2 \cdot t_{\text{откл}}; \\ t_{\text{откл}} &= 0,06 \text{ с} \leq t_T = 3 \text{ с}; \\ I_T^2 \cdot t_{\text{откл}} &= (10 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06 = 60 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}; \\ B_K = 2,3 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с} &\leq I_T^2 \cdot t_{\text{откл}} = 60 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}; \end{aligned}$$

#### 4) Электродинамическая стойкость

$$\begin{aligned} i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}} &= K_{\text{эд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном}}, \\ i_{\text{уд}} = 12,97 \text{ кАА} &\leq i_{\text{дин}} = 64 \text{ кА}; \end{aligned}$$

#### 5) Вторичная нагрузка:

$$\begin{aligned} Z_2 &\leq Z_{2\text{ном}}, \\ Z_{2\text{ном}} &= \frac{100}{3^2} = 11,1 \text{ Ом}; \end{aligned}$$

Определяем сопротивление приборов, подключенных к наиболее нагруженной обмотке трансформатора тока. В данном случае подключен только один амперметр. Амперметр типа Э42700с потребляемой мощностью  $S_{\text{приб}} = 0,5 \text{ ВА}$ .

$$\begin{aligned} R_{\text{приб}} &= \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} & (7.3) \\ R_{\text{приб}} &= \frac{0,5}{3^2} = 0,05 \text{ Ом}; \end{aligned}$$

Принимаем переходное сопротивление контактов, равным  $R_k = 0,05 \text{ Ом}$ , так как подключается всего один амперметр.

Сопротивление проводов.

$$R_{\text{пр}} \leq Z_{2\text{ном}} - R_{\text{приб}} - R_{\text{к}} = 11,1 - 0,05 - 0,05 = 11 \text{ Ом};$$

Расчетная длина проводов вторичной обмотки зависит от схемы соединения, используется полная звезда,  $l_p = l$ .

Для 10 кВ, длина вторичных цепей 4-6 м.

Удельное сопротивление  $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ , жила будет из меди.

$$s = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}} \quad (7.4)$$

$$s = \frac{0,0175 \cdot 75}{11} = 0,12 \text{ мм}^2;$$

Минимальное сечение медных проводов  $2,5 \text{ мм}^2$ .

Проверка разъединителя РГ-110/1000 УХЛ1.

Параметры разъединителя.

$$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}; I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}; i_{\text{пр.с}} = 80 \text{ кА}; I_{\text{T}} = 31,5 \text{ кА}; t_{\text{T}} = 3 \text{ с.}$$

1) Номинальное напряжение:

$$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ} \leq U_{\text{сет.ном}} = 110 \text{ кВ};$$

2) Номинальный рабочий ток :

$$I_{\text{раб}} = 52,4 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А};$$

3) Электродинамическая стойкость:

$$i_{\text{уд}} = 12,97 \text{ кА} \leq i_{\text{пр.с}} = 80 \text{ кА};$$



4) Термическая стойкость:

$$t_{\text{откл}} = 0,01 + 0,055 = 0,065 \text{ с};$$

$$B_K = (4,96 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,06 + 0,03) = 2,4 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с};$$

$$\text{Если } t_{\text{откл}} \geq t_T, \text{ то } B_K \leq I_T^2 \cdot t_T;$$

$$\text{Если } t_{\text{откл}} \leq t_T, \text{ то } B_K \leq I_T^2 \cdot t_{\text{откл}};$$

$$t_{\text{откл}} = 0,06 \text{ с} \leq t_T = 3 \text{ с};$$

$$I_T^2 \cdot t_{\text{откл}} = (12,47 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,065 = 93 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_K = 2,4 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с} \leq I_T^2 \cdot t_{\text{откл}} = 93 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с};$$

Разъединитель прошел проверку.

Вывод: выбор и проверка оборудования на высокой стороне 110кВ  
выполнена.

## 8 Выбор и проверка оборудования на стороне 10 кВ ГПП

Для напряжений 10 кВ используем КРУ-СЭЩ-70.

Таблица 8.1 - Перечень измерительных приборов

Цепь	Место установки	Перечень приборов
Двухобмоточный трансформатор	ВН	Амперметр
	НН	Амперметр, ваттметр, варметр, счетчики активной и реактивной энергии
Сборные шины 10 кВ	Каждая секция сборных шин	Вольтметр
Секционный выключатель	-	Амперметр
Линии 10 кВ к ТП	Каждая линия	Амперметр, счетчики активной и реактивной энергии
Трансформатор собственных нужд	ВН	-
	НН	Амперметр, счетчики активной энергии

Таблица 8.2 – Данные КРУ

Тип ячейки	
Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	10
Тип выключателя	ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000
Тип трансформатора напряжения	НАЛИ-СЭЩ-10-1-0,5-225
Тип трансформатора тока	ТОЛ-СЭЩ-10-0,2S-600/5

Проверка вакуумного выключателя ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000.

1) Номинальное напряжение:

$$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ} \leq U_{\text{сет.НОМ}} = 10 \text{ кВ};$$

2) Номинальный рабочий ток по формуле:

$$I_{\text{max}} < I_{\text{н}} \quad (8.1)$$

$$274,92 \text{ А} < 2000 \text{ А};$$

где

$$I_{\text{max}} = 1,4 \cdot \frac{S_{\text{н.Т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{СН}}} \quad (8.2)$$

$$I_{\text{max}} = 1,4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 2} = 274,92 \text{ А};$$

3) Отключающая способность:

Симметричный ток:

$$I_{\text{П,т}} = I_{\text{П,0}} = 4,96 \text{ кА};$$

$$I_{\text{П,т}} = 4,96 \text{ кА} \leq I_{\text{откл.НОМ}} = 20 \text{ кА};$$

Апериодическая составляющая тока по формулам:

$$\tau = t_{\text{рз}} + t_{\text{с.в.}} \quad (8.3)$$

$$I_{\text{а,т}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{П,т}} \cdot e^{\frac{\tau}{T_a}} \quad (8.4)$$

$$I_{\text{а,НОМ}} = \frac{(\sqrt{2} \cdot \beta_{\text{НОР}})}{100} \cdot I_{\text{откл.НОМ}} \quad (8.5)$$

$$\tau = 0,01 + 0,03 = 0,04 \text{ с};$$

$$I_{\text{а,т}} = \sqrt{2} \cdot 4,96 \cdot e^{\frac{0,04}{0,03}} = 1,23 \text{ кА};$$

$$I_{\text{а,НОМ}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 40}{100} \cdot 20 = 11,31 \text{ кА};$$

$$I_{\text{а,т}} = 1,23 \text{ кА} \leq I_{\text{а,НОМ}} = 11,31 \text{ кА};$$

4) Включающая способность:

$$I_{П,0} = 4,96 \text{ кА} \leq i_{\text{вкл.ном}} = 20 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд}} = 12,97 \leq i_{\text{вкл.ном}} = 50 \text{ кА};$$

5) Электродинамическая стойкость:

$$I_{П,0} = 4,96 \text{ кА} \leq i_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд}} = 12,97 \leq i_{\text{пр.с}} = 50 \text{ кА};$$

6) Термическая стойкость по формулам:

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{пв.откл}} \quad (8.6)$$

$$W_K = I_{П,0}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a) \quad (8.7)$$

$$t_{\text{откл}} = 0,01 + 0,05 = 0,06 \text{ с};$$

$$W_K = (4,96 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,06 + 0,03) = 2,2 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с};$$

$$\text{Если } t_{\text{откл}} \geq t_T, \text{ то } W_K \leq I_T^2 \cdot t_T;$$

$$\text{Если } t_{\text{откл}} \leq t_T, \text{ то } W_K \leq I_T^2 \cdot t_{\text{откл}};$$

$$t_{\text{откл}} = 0,06 \text{ с} \leq t_T = 3 \text{ с};$$

$$I_T^2 \cdot t_{\text{откл}} = (50 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06 = 150 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с};$$

$$W_K = 2,2 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с} \leq I_T^2 \cdot t_{\text{откл}} = 150 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с};$$

Выключатель прошел проверку.

Теперь проверим трансформатор тока ТОЛ-СЭЩ-10-0,2S-600/5.

1) Номинальное напряжение:

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

2) Номинальный рабочий ток:

$$I_{\text{раб}} = 577,3 \text{ A} \leq I_{1\text{ном}} = 600 \text{ A};$$

3) Термическая стойкость:

$$t_{\text{откл}} = 0,06 \text{ с}; B_{\text{К}} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с};$$

$$\text{Если } t_{\text{откл}} \geq t_{\text{T}}, \text{ то } B_{\text{К}} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}};$$

$$\text{Если } t_{\text{откл}} \leq t_{\text{T}}, \text{ то } B_{\text{К}} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}};$$

$$t_{\text{откл}} = 0,06 \text{ с} \leq t_{\text{T}} = 3 \text{ с};$$

$$I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = (40 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06 = 96 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_{\text{К}} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с} \leq I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = 96 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с};$$

4) Вторичная нагрузка по формуле 8.8:

$$Z_{2\text{НОМ}} = \frac{S_2}{I_2^2} \quad (8.8)$$

$$Z_{2\text{НОМ}} = \frac{50}{5^2} = 2 \text{ Ом};$$

Нагрузка вторичных обмоток ТТ выбираем исходя из одной ячейки.

Таблица 8.3 – Измерительные приборы, подключенные к ТТ

Тип прибора	Название прибора	н, кол.	S <sub>приб</sub> , ВА	S <sub>Σ</sub> , ВА
Амперметр	ЦМ120	1	15	15
Ваттметр				
Счетчики активной энергии и реактивной энергии	ЦМК120СП	1	10	10
Суммарное значение полной мощности всех приборов				25

$$R_{\text{приб}} = \frac{S_{\Sigma}}{I_2^2} = \frac{25}{5^2} = 1 \text{ Ом} \quad (8.9)$$

$$R_{\text{приб}} = \frac{25}{5^2} = 1 \text{ Ом};$$

Так как во вторичной цепи будет больше одного устройства, то сопротивление контактов примем равной  $R_K = 0,1 \text{ Ом}$

$$R_{\text{пр}} \leq Z_{2\text{НОМ}} - R_{\text{приб}} - R_K = 2 - 1 - 0,1 = 0,9 \text{ Ом};$$

Расчетная длина проводов вторичной обмотки зависит от схемы соединения, используем полную звезду, а значит  $l_p = l$ .

Для 10 кВ, длина вторичных цепей 4-6 м.

Удельное сопротивление равно  $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ , жила будет из меди.

$$S = \frac{\rho \cdot l_p}{R_{\text{пр}}} \quad (8.10)$$

$$S = \frac{0,0175 \cdot 6}{0,9} = 0,12 \text{ мм}^2;$$

Минимальное сечение для медных проводов  $2,5 \text{ мм}^2$ .

Проверяем трансформатор напряжения НАЛИ-СЭЦ- 10-1-0,5-225.

1) Номинальное напряжение:

$$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ} \leq U_{\text{сет.НОМ}} = 10 \text{ кВ};$$

2) Вторичная нагрузка:

Заполним таблицу (таблица 8.4) с измерительными приборами, подключаемые к вторичной обмотке трансформатора напряжения.

Нагрузка вторичных обмоток ТН выбираем исходя из всей шины.

Таблица 8.4 – Измерительные приборы, подключенные к ТН

Тип прибора	Название прибора	cos φ	sin φ	пприб, кол.	пкат, кол.	S <sub>кат.</sub> , ВА	S <sub>Σ</sub> , ВА
Вольтметр	ЩМ120	1	0	2	-	-	30
Ваттметр							
Счетчики активной энергии и реактивной энергии	ЩМК120СП	0,38	0,925	7	-	-	70

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{\text{приб}} \cdot \cos\varphi)^2 + (\sum S_{\text{приб}} \cdot \sin\varphi)^2};$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{30 + 70 \cdot 0,38)^2 + (70 \cdot 0,925)^2} = 86 \text{ ВА};$$

$$S_{\text{ном}} = 225 \text{ ВА} \geq S_{2\Sigma} = 86 \text{ ВА};$$

Таблицу 8.5 - Параметры НАЛИ-СЭЩ- 10-1-0,5-225

Параметр	Значение
Номинальное напряжение обмотки, В: ВН НН	10000/ $\sqrt{3}$ 100/ $\sqrt{3}$
Вторичная нагрузка, ВА: расчетная $S_{2\Sigma}$ $S_{\text{ном}}$	86 225
Класс точности	0,5

Выводы: выбор оборудования на низкой стороне 10 кВ главной понизительной подстанции выполнен.

Выбраны:

- ячейка КРУ-СЭЩ-70;
- выключатель ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000;
- трансформатор тока ТОЛ-СЭЩ-10-0,2S-600/5;
- трансформатор напряжения НАЛИ-СЭЩ- 10-1-0,5-225.

Оборудование прошло проверку.

## 9 Выбор трансформаторов собственных нужд и оперативного тока

В соответствии с действующими требованиями в настоящее время на всех ПС 110/10 кВ должен применяться постоянный оперативный ток.

Источником оперативного постоянного тока является аккумуляторная батарея, работающая с зарядно-подзарядным агрегатом в режиме постоянного подзаряда.

Мощность, расходуемая на собственные нужды,  $S_{\text{сн}} = 78$  кВА (по заданию проекта).

Мощность ТСН с учетом коэффициента спроса формула 9.1

$$S_{\text{ТСН}} \geq K_c \cdot S_{\text{сн}} \quad (9.1)$$

$$S_{\text{ТСН}} = 0,7 \cdot 78 = 54,6 \text{ кВА}$$

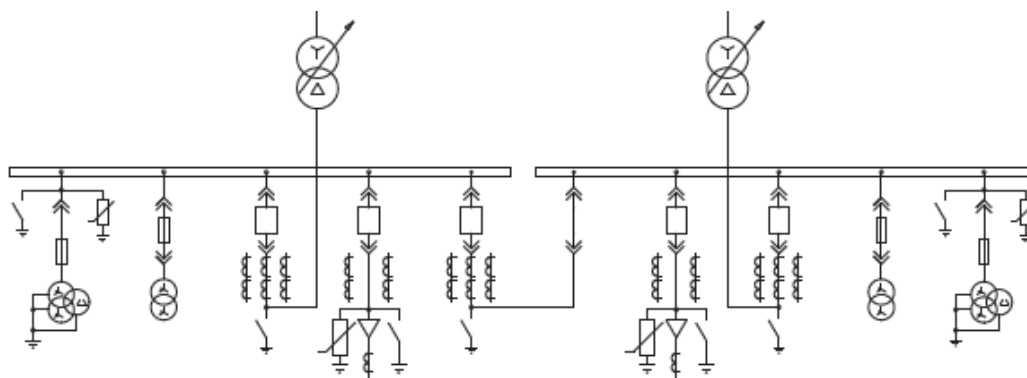


Рисунок 9.1- Присоединение ТСН подстанции с постоянным оперативным током

Вывод: исходя из расчета выбираем два трансформатора собственных нужд типа ТЛС-СЭЩ мощностью 63 кВА напряжением 10/0,4 кВ.



## Заключение

Выполнен проект системы электроснабжения завода по выпуску спецтехники.

Произведен расчет электрических нагрузок по цехам и по предприятию в целом. На их основе сделан: выбор трансформаторов и КУ для ЦТП и силовых трансформаторов для ГПП; выбор напряжения внешнего и внутреннего электрического снабжения предприятия. Которые составили: внешнее 110кВ, внутреннее 10 кВ.

На ГПП выбраны к установке два силовых трансформатора типа ТМН - 10000/110/10.

На ЦТП выбраны к установке трансформаторы типа ТМГ мощностью от 450 кВА до 1600 кВА, производитель ООО «Трансформер-Урал».

Рассчитаны токи трехфазного КЗ на ВН и НН. На основе их результатов выбрано низковольтное и высоковольтное оборудование.

На стороне 110 кВ:

- Выключатель ВГТ-110-10/2000 У1;
- Трансформатор тока ТОГФ-110кВ;
- Разъединитель РГ–110/1000 УХЛ1.

На стороне 10 кВ:

- Комплектное распределительное устройство КРУ-СЭЩ-70;
- Выключатель ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000;
- Трансформатор тока ТОЛ-СЭЩ-10-0,2S-600/5;
- Трансформатор напряжения НАЛИ-СЭЩ-10-1-0,5-225.

Выбран трансформатора собственных нужд ТЛС-СЭЩ мощностью 63 кВА.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была спроектирована система электроснабжения трубопрокатного завода, которая удовлетворяет всем современным требованиям и нормам.

## Список используемых источников

1. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы. - 7-е изд. - Москва: Изд-во НЦ ЭНАС, 2009.
2. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения. Электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко - Тольятти: ТГУ, 2016.
3. Сивков, А.А. Основы электроснабжения. Учебное пособие / А.А. Сивков, Д.Ю. Герасимов, А.С. Сайгаш – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012.
4. Указания по расчету электрических нагрузок. ВНИПИ «Тяжпром-электропроект» №358–90 от 1 августа 1993г.
5. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и го- родов. Учебное пособие / Г.Н. Ополева – Москва: Инфра-М, 2017.
6. Рожин, А.Н. Учебное пособие для выполнения курсового и диплом- ного проектов: Внутрицеховое электроснабжение / А.Н. Рожин, Н.С. Башкаева - Киров, 2011.
7. Электроснабжение: методические указания к курсовой работе для студентов очной и очно-заочной форм обучения / сост. Т. В. Синюкова. - Ли- пецк: ЛГТУ, 2013.
8. Стрельников, Н.А. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие / Н.А. Стрельников. - Новосибирск : НГТУ, 2013.
9. Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник / Б.И. Кудрин – М.: Academia, 2015.
10. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова – Москва: Форум, 2014.
11. Сибикин, Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и

городских объектов. Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин – Москва: Форум,2015.

12. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промпредприятий и установок. Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин – Москва: Форум,2015.

13. Хорольский, В.Я. Прикладные методы для решения задач электроэнергетики. Учебное пособие / В.Я. Хорольский – Москва: Форум,2015.

14. Юндин, М.А. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению: учеб. пособие / М.А. Юндин, А.М. Королев. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Санкт-Петербург: Лань,2011.

15. Электроснабжение: расчет токов короткого замыкания: метод. указания к практ. и курсов. работам / Липецкий государственный технический университет; сост. Т. В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ,2014.

16. Электроснабжение: выбор и проверка токоведущих частей и коммутационных аппаратов: метод. указания к практ. и курсов. работам / Липецкий государственный технический университет ; сост. Т.В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2014.

17. Борисов, Р. К. Заземляющие устройства электроустановок. Справочник / Р. К. Борисов, А. В. Горшков, Ю. В. Жарков - Москва: МЭИ,2013.

18. Электроэнергетика. Учебное пособие / под ред. Ю.В. Шарова. – М.: Форум,2013.

19. Шлейников, В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учеб. пособие / В.Б. Шлейников, Т.В. Сазонова. - Оренбург : ОГУ,2012.

20. Овсянников, А.Г. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебник / А. Г. Овсянников, Р. К. Борисов. - Новосибирск: НГТУ, 2013.

21. Chapman, S.J. Instructor's Manual to accompany Electric Machinery and Power System Fundamentals, Second Edition / S.J. Chapman – USA: McGraw-Hill, 2011.