

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение  
(направленность (профиль))

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Реконструкция электрической части подстанции 110/10/6 кВ  
г. Тольятти»

Студент(ка)

А.В. Митин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.А. Кретов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

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

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Тольятти 2016

## **Аннотация**

В выпускной квалификационной работе представлен расчет системы электроснабжения механообрабатывающего производства ООО «Технологии Вендинга».

В выпускной квалификационной работе произведен расчет мощности и компенсирующих устройств предприятия, выбор напряжений питающих линий и трансформаторов главной понижающей подстанции, расчет токов короткого замыкания и выбор сечений кабельных линий и кабелей. Выполнен расчет токов короткого замыкания и выбор высоковольтного защитного оборудования механообрабатывающего производства. Для определения оптимального места установки ГПП и ТП произведен расчет картограммы нагрузок.

Произведен расчет освещения механического цеха и выбраны типы и мощности светильников рабочего и аварийного освещения, а также схемы питания осветительной установки.

В выпускной квалификационной работе представлены генеральный план предприятия и механического цеха, однолинейная схема электроснабжения и схема освещения механического цеха.

Разработан принцип осуществления релейной защиты ГПП от токов короткого замыкания и перегрузок.

Выпускная квалификационная работа содержит 67 листов с 3 рисунками и 13 таблицами. Графическая часть содержит 6 листов формата А1.

## Содержание

Введение.....	5
1 Анализ существующей системы электроснабжения .....	7
2 Электроснабжение .....	9
2.1 Ведомость электрических нагрузок.....	9
2.2 Определение расчетных электрических нагрузок.....	10
2.2.1 Определение расчетной мощности в целом с учетом .....	11
компенсирующих устройств и потерь мощности в трансформаторах.....	11
2.2.2 Определение мощности компенсирующих устройств.....	11
2.2.3 Расчетная мощность предприятия с учетом компенсирующих устройств	11
2.3 Выбор напряжения питающих линии и распределительных сетей.....	13
2.4 Выбор числа, мощности и типа силовых трансформаторов ГПП.....	13
2.5 Картограмма нагрузок и определение центра электрических нагрузок (ЦЭН)	
.....	15
2.5.1 Картограмма нагрузок .....	15
2.5.2 Расчет условного центра электрических нагрузок .....	17
2.6 Количество и мощность трансформаторов ЦТП с учетом КУ .....	19
2.7 Выбор схемы электроснабжения ГПП .....	21
2.8 Выбор сечения питающей линии и распределительных сетей .....	25
2.8.1 Расчет потерь ЦТП.....	25
2.8.2 Выбор сечения проводов питающей линии .....	27
2.8.3 Выбор сечения кабельных линий напряжением выше и до 1 кВ.....	29
2.9 Расчет токов короткого замыкания и выбор высоковольтного защитного	
оборудования .....	31
2.9.1 Расчет токов короткого замыкания .....	31
2.9.2 Выбор и проверка электрического оборудования .....	35
2.9.3 Выбор изоляторов .....	39
3 Электроснабжение механического цеха.....	41
3.1 Определение расчетных мощностей .....	41

3.2	Определение сечений кабелей.....	42
3.3	Расчет токов короткого замыкания.....	44
3.4	Электроосвещение цеха.....	47
3.4.1	Выбор системы освещения .....	47
3.4.2	Выбор типа и мощности источников света .....	47
3.4.3	Расчет освещенности цеха точечным методом.....	50
3.4.4	Выбор кабелей.....	52
3.4.5	Выбор схемы питания осветительной установки .....	54
4	Релейная защита ГПП .....	56
4.1	Дифференциальная токовая защита .....	56
4.2	Максимальная токовая защита.....	60
4.3	Максимальная токовая защита от перегруза.....	62
	Заключение .....	63
	Список использованных источников .....	64

## Введение

Система электрического снабжения промышленных предприятий является частью подсистемы энергосистемы, обеспечивающая полное электрическое снабжение для промышленных, транспортных, коммунальных и сельскохозяйственных потребителей. Системы электроснабжений промышленных предприятий являются подсистемой технологических систем производства предприятия, которые предъявляют определенные требования к электрическому обеспечению.

В системах электрического снабжения предприятий установки могут быть разделены по следующим видам: 1) установки, производящие электроэнергию; 2) станции электричества; 3) передающие, преобразующие и распределяющие электричество сети и подстанции 4) участники, потребляющие электроэнергию в производственных и бытовых нуждах.

Любое предприятие промышленности находится в стадии непрерывного развития: запускаются в новые площади под производство, улучшается использования имеющегося оборудования за счет модернизации систем управления, а также производится замена устаревшего оборудования на новое, с большей производительностью и мощностью.

При проектировании система электрического снабжения промышленных предприятий должны обеспечивать гибкость, обеспечивающую непрерывное совершенствование в случае увеличении мощностей предприятия и изменений условий производства.

Основные задачи, решаемые при проектировании системы электрического снабжения промышленного предприятия, заключаются в нахождении оптимальных параметров при правильном выборе напряжений, расчетных значений определяющих параметры электрических нагрузок и требования по обеспечению бесперебойного электрического снабжения; рационального выбора мощности и числа трансформаторов, преобразователей тока и частоты, конструкций промышленной сети, компенсаторов реактивной

мощности и средств по регулированию напряжения, симметрий нагрузок и подавления высших гармоник в сетях путем построения схем электроснабжения, соответствующих оптимальным уровням надежности. Данные задачи, постоянно усложняются вследствие роста мощностей потребителей энергии, появления новых вариантов технологических процессов и вариантов использования энергии.

Основную часть потребляемой электроэнергии занимают предприятия промышленности, потребляющие более 60% объема вырабатываемой электрической энергии.

Предприятия, специализирующиеся на работах по обработке металла, от простого резания до изготовления высокотехнологичных и сложнотехнических в плане исполнения деталей имеют тесную связь с предприятиями постоянно развивающейся за счет перевооружения парка оборудования машиностроительной отрасли.

Цель выпускной квалификационной работы заключается в проектировании гибкой системы электрохозяйства ООО «Технологии Вендинга», отвечающей современным требованиям стандартов в данной отрасли.

Для достижения поставленной цели при выполнении выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи:

- Выполнить анализ существующей системы электроснабжения ООО «Технологии Вендинга»;
- Произвести расчет системы электроснабжения ООО «Технологии Вендинга» и выбрать оборудование.

## **1 Анализ существующей системы электроснабжения**

Объектом выпускной квалификационной работы является система электрохозяйства ООО «Технологии Вендинга».

Сфера деятельности ООО «Технологии Вендинга» включает в себя: кузнечно-прессовое производство, кольцепрокатный стан, термическую и механическую обработку.

Электрическое снабжение цехов предприятия по производству осуществляется двумя главными понизительными подстанциями (ГПП) 110/6 кВ. ГПП-1 и ГПП-2 запитанными от подстанции ПС 220/110кВ.

Все цеха по производству запитаны кабельными линиями 6кВ, общей протяженностью примерно 95 км.

Поскольку на предприятии осуществляется непрерывный технологический процесс со сложным и опасным производством, следовательно, электроснабжение осуществляется в соответствии с первой категорией надежности. Перерыв подачи электрической энергии допустим только во время работы устройств АВР.

Сети 110 кВ работают в режиме эффективно заземленной нейтрали, при этом для всех, установленных на ООО «Технологии Вендинга» трансформаторов 110/6 кВ нейтрали разземлены, и могут быть заземлены заземлителями ЗОН по команде с диспетчерского пункта.

Сети 6 кВ на предприятии работают в режиме изолированной нейтрали. При этом при возникновении замыкания одной фазы на землю отключения электроснабжения не происходит, а происходит срабатывание предупредительной сигнализации и оповещение оперативного персонала.

Сети 380/220 В работают в режиме глухозаземленной нейтрали. Но на ГПП-2 и ЦРП сети для собственных нужд 3×220 В выполнены с изолированной нейтралью.

В общей сложности производственные и вспомогательные цеха ООО «Технологии Вендинга» имеют 36 подстанций с различной мощностью.

Мощности, установленных на подстанциях, трансформаторов в зависимости от нагрузки находятся в пределах 100 -1600 кВ. Для обеспечения бесперебойного электрического снабжения практически все подстанции двухтрансформаторные, оборудованные АВР. Однотрансформаторные подстанции применены только для питания вспомогательных объектов

Большая часть трансформаторов имеет масляное наполнение типа ТМ, ТМЗ, ТМФ. Несмотря на то, что срок работы некоторых трансформаторов составляет более 40 лет и уже отработан значительный срок эксплуатации, их техническое состояние остается удовлетворительным. Запитка двухтрансформаторных подстанций осуществляется от разных являющихся независимыми источниками питания ячеек ГПП, ЦРП, РП, по двум фидерам. Для выполнения кабельных линии выбраны кабели ААБ, АСБ, ААШВ и другие, в основном имеющие алюминиевые жилы. Кабельные линии значительно изношены вследствие длительного срока эксплуатации, часто в агрессивной среде, что приводит к частым повреждениям изоляции кабелей. На подстанциях в качестве основных аппаратов коммутации 380 В используются автоматические выключатели АВМ-4, АВМ-10, АВМ-15, АВМ-20, рассчитанные на разные токи сработки. Выключатели АВМ-15 и АВМ-20 имеют привод от двигателя.

На некоторых подстанциях имеет место применение автоматических выключателей «Электрон» со встроенной полупроводниковой защитой, позволяющей вести гибкую настройку параметров.



## 2 Электроснабжение

### 2.1 Ведомость электрических нагрузок

Расчет выполняется на основе следующих данных:

- Генеральный план предприятия;
- Данные по электрическим нагрузкам предприятия, которые представлены в таблице 2.1;
- Осуществление питания происходит от подстанции 330/110 кВ;
- Плата за электроэнергию 12,7 руб./кВт · ч ;
- Расстояние от подстанции энергосистемы до предприятия 15 км.

Таблица 2.1 – Распределение приемников и потребителей электрической энергии по категориям в соответствии с бесперебойностью электроснабжения

№ п/п	Наименование цеха	Категория надежности электроснабжения	Установленная мощность, кВт
1	2	3	4
	<b>Корпус 1</b>		
1	Цех термической обработки №1	I	1760
	<b>Корпус 2</b>		
2	Цех термической обработки №127	I	1540
3	Цех механической обработки №103	II	646
	<b>Корпус 3</b>		
4	Кузнечно-прессовый цех №105	I	2530
5	Цех термической обработки №137	I	740
	<b>Корпус 4, 5, 6</b>		
6	Бытовая часть(отделы)	III	535
	<b>Корпус 7</b>		
7	Цех механической обработки №124	II	920
	<b>Корпус 8</b>		
8	Кольцепрокатный стан	I	1965
	<b>Корпус 9</b>		
9	Цех механической обработки №124	II	1700
10	Склад	III	52
11	Цех термической обработки №137	I	400
	<b>Корпус 10</b>		
12	Южная проходная	III	65

1	2	3	4
	<b>Корпус 11</b>		
13	Заводуправление	III	180
14	Столовая	III	80
15	Главная проходная	III	65

## 2.2 Определение расчетных электрических нагрузок

Расчетная силовая нагрузка цеха термической обработки №1:

$$P_p = P_n \cdot K_c = 1760 \cdot 0,7 = 1232 \text{ кВт}, \quad (2.1)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 1232 \cdot 0,7 = 862,4 \text{ кВар}. \quad (2.2)$$

где:

$K_c$  - усредненный коэффициент спроса в соответствии с таблицей 2.2 [1].

Номинал мощности освещения и расчетная осветительная нагрузка цеха термической обработки №1:

$$P_{но} = P_{уд} \cdot F = 16 \cdot 22800 = 364,8 \text{ кВт}, \quad (2.3)$$

$$P_{ро} = P_{но} \cdot K_{со} = 364,8 \cdot 0,9 = 328,32 \text{ кВт}, \quad (2.4)$$

где:

$P_{уд}$  – по справочным материалам [1];

$K_{со}$  - коэффициент спроса на освещение, определяемый по справочным материалам [1].

Находим полную расчетную мощность цеха:

$$P_{p\Sigma}' = P_p = 1232 \text{ кВт}, \quad (2.5)$$

$$Q_{p\Sigma}' = Q_p = 862,4 \text{ кВар}, \quad (2.6)$$

$$S_p = \sqrt{P_{p\Sigma}'^2 + Q_{p\Sigma}'^2} = \sqrt{1232^2 + 862,4^2} = 1504 \text{ кВА}. \quad (2.7)$$

Коэффициент спроса  $K_C$ , мощности  $\cos \varphi$ , коэффициент спроса для осветительной нагрузки  $K_{CO}$ , плотность осветительной нагрузки  $P_{уд}$  [Вт/м<sup>2</sup>] по каждому цеху выбираются по справочникам [1] и [2]. Площадь  $F$ [м<sup>2</sup>] по каждому цеху определена. Данные расчетов по цехам представлены в таблице 2.2

2.2.1 Определение расчетной мощности в целом с учетом компенсирующих устройств и потерь мощности в трансформаторах

Потери в ЦТП:

$$\Delta P_{цтп} = 0,02 \cdot S_p = 0,02 \cdot 11200,25 = 224 \text{ кВт}, \quad (2.8)$$

$$\Delta Q_{цтп} = 0,1 \cdot S_p = 0,1 \cdot 11200,25 = 1120 \text{ кВар}. \quad (2.9)$$

2.2.2 Определение мощности компенсирующих устройств

$$Q_{ку} = P_{сг} (\cos \varphi_H - \cos \varphi_2) = 7493 \cdot (0,647 - 0,33) = 2727 \text{ кВар}, \quad (2.10)$$

$$\cos \varphi_H = \frac{\sum Q_p}{\sum P_p} = \frac{6067,098}{9868,397} = 0,615, \quad (2.11)$$

$$\cos \varphi_2 = 0,33, \quad (2.12)$$

$$P_{сг} = \sum P_p \cdot \frac{T_{ма}}{T_г} = 9868,397 \cdot \frac{7000}{8760} = 7886 \text{ кВт}. \quad (2.13)$$

где:

$T_{ма} = 7000 \text{ ч}$  – время в течение которого используется максимальная нагрузка.

$T_г = 8760 \text{ ч}$  – часы работы предприятия в трехсменном режиме за год [1].

2.2.3 Расчетная мощность предприятия с учетом компенсирующих устройств

$$\begin{aligned} S_{гпт} &= \sqrt{(\sum P_p + \Delta P_{цтп})^2 + (\sum Q_p + \Delta Q_{цтп} + Q_{ку})^2} \cdot K_{рм} = \\ &= \sqrt{(9868,397 + 224)^2 + (6067,098 + 1120 + 2727)^2} \cdot 0,9 = 12732,49 \text{ кВА}, \end{aligned} \quad (2.14)$$

Таблица 2.2 – Определение расчетных нагрузок

№/№	Наименование цеха	Силовая нагрузка				Осветительная нагрузка						Расчетная нагрузка			
		Р <sub>н</sub> , кВт	К <sub>с</sub>	η <sub>пф</sub>	Р <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВАр	F, м <sup>2</sup>	Р <sub>уд</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	Р <sub>но</sub> , кВт	К <sub>со</sub>	Р <sub>ро</sub> , кВт	Р <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВАр	S <sub>р</sub> , кВА	
	<b>Нагрузка выше 1 кВ</b>	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Цех термической обработки №1	1760	0,7	0,7	1232	862,4	22800	16	364,8	0,9	328,3	1560	862,4	1504	
2	Цех термической обработки №127	1540	0,7	0,7	1078	754,6	11400	16	182,4	0,9	164,16	1242	754,6	1316	
	<b>Нагрузка до 1 кВ</b>														
3	Цех механической обработки №103	646	0,24	0,7	155,04	108,528	11400	15	171	0,9	153,9	308,94	108,528	327,45	
4	Кузнечно-прессовый цех №105	2530	0,4	0,86	1012	870,32	11400	16	182,4	0,9	164,16	1176	870,32	1463	
5	Цех термической обработки №137	740	0,7	0,75	518	388,5	11400	15	171	0,8	136,8	654,8	388,5	761,38	
6	Бытовая часть(отделы) корпус 4	535	1,2	0,8	642	513,6	11520	13	149,76	0,8	119,8	761,8	513,6	918,77	
7	Бытовая часть(отделы) корпус 5	535	1,2	0,8	642	513,6	4800	13	62,4	0,8	49,92	691,92	513,6	861,7	
8	Бытовая часть(отделы) корпус 6	535	1,2	0,8	642	513,6	2400	13	31,2	0,8	24,96	666,96	513,6	841,796	
9	Цех механической обработки №124	920	0,24	0,7	220,8	154,56	9900	15	148,5	0,9	133,65	354,45	154,56	386,683	
10	Кольцеобразный стан	1965	0,5	0,7	982,5	687,75	14880	16	238,08	0,9	214,27	1197	687,75	1380	
11	Цех механической обработки №124	1700	0,24	0,7	408	285,6	10000	15	150	0,9	135	543	285,6	613,528	
12	Склад	52	0,5	0,8	26	20,8	880	16	14,08	0,6	8,45	34,448	20,8	40,241	
13	Цех термической обработки №137	400	0,24	0,7	96	67,2	4000	15	60	0,9	54	150	67,2	164,365	
14	Южная проходная	65	0,6	0,7	39	27,3	1292	15	19,38	0,8	15,5	54,504	27,3	60,959	
15	Заводуправление	180	1,2	0,87	216	187,92	4500	13	58,5	0,8	46,8	262,8	187,92	323,075	
16	Столовая	80	1,2	0,87	96	83,52	4500	15	67,5	0,85	57,375	153,375	83,52	174,641	
17	Главная проходная	65	0,6	0,7	39	27,3	1450	15	21,75	0,8	17,4	56,4	27,3	62,66	
18	<b>Итого по предприятию в целом</b>	<b>14248</b>			<b>8044,34</b>	<b>6067,098</b>	<b>104322</b>		<b>1545,55</b>			<b>9868,397</b>	<b>6067,098</b>	<b>11200,25</b>	

### 2.3 Выбор напряжения питающих линии и распределительных сетей

Питание может быть осуществлено за счет подстанции энергосистемы с двумя установленными трансформаторами, мощность каждого из которых  $16000 \text{ кВА}$ , при первичном напряжении  $110 \text{ кВ}$  и вторичном напряжении  $6 \text{ кВ}$ .

Напряжения питающих линий могут быть определены на основе эмпирических формул, в которых используются связующие коэффициенты, мощность и длина питающей линии. Некоторые из эмпирических формул приведены ниже:

$$U = 3\sqrt{S} + 0,5 \cdot l = 3\sqrt{10,922} + 0,5 \cdot 15 = 18 \text{ кВ}, \quad (2.15)$$

$$U = 3,34 \cdot \sqrt{l + 16 \cdot P} = 3,34 \cdot \sqrt{15 + 16 \cdot 9,052} = 42 \text{ кВ}, \quad (2.16)$$

$$U = 16\sqrt[4]{P \cdot l} = 16\sqrt[4]{9,052 \cdot 15} = 54,6 \text{ кВ}, \quad (2.17)$$

$$U = 17\sqrt{l/16 + P} = 17\sqrt{15/16 + 9,052} = 53,73 \text{ кВ}. \quad (2.18)$$

Таким образом, в результате сравнения значений, полученных по формулам выше с номограммой в справочнике [1] - принимается стандартизованное, равное  $110 \text{ кВ}$  напряжение.

### 2.4 Выбор числа, мощности и типа силовых трансформаторов ГПП

Обычно ГПП промышленных предприятий выполняются с двумя трансформаторами. ГПП с одним трансформатором допускается применять только если есть централизованный резервный трансформатор или ведется поэтапное строительство. Установка количества трансформаторов больше двух допускается только в случаях исключения: когда есть необходимость выделения резко переменных нагрузок и их питания от отдельно установленного трансформатора, при выполнении реконструкционных работ на ГПП, или если установка третьего трансформатора является экономически целесообразной.

Определение мощности, используемых на ГПП трансформаторов, производят на основании рассчитанной нагрузки предприятия в режиме нормальной работы. Для надёжности электроснабжения потребителей в пост аварийном режиме работы, предусматривается их запитка от трансформатора оставшегося в работе. При этом, для снижения нагрузки, часть не ответственных потребителей должна быть отключена.

Для ГПП установочная мощность определяется на основе расчётной мощности запитанного от нее предприятия, диапазон напряжений питающей линии находится в диапазоне 35–220 кВ. Стандартный ряд мощностей трансформаторов при шаге 1,6 имеет следующие значения 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 80 МВА, при этом трансформаторы мощность которых от 25 МВА и выше выполняются с расщепленными обмотками. Для выбора мощности трансформаторов ГПП необходимо, чтобы была известна расчётная мощность предприятия  $S_p$ , требования степени бесперебойности электроснабжения и требования коэффициента загрузки по отраслям.

Выбор ГПП по исходным данным осуществляется на основании значения полной расчётной мощности по предприятию, определенной как мощность трансформаторов ГПП учитывающая потери.

Поскольку на ООО «Технологии Вендинга» имеются потребители как I, II и III категорий, на ГПП устанавливаем два трансформатора. Выбор мощности трансформаторов определяется условием:

$$S_{ном} \geq \frac{S_p}{2 \cdot K_3} = \frac{12732,49}{2 \cdot 0,7} = 9095 \text{кВА}, \quad (2.19)$$

Расчетный коэффициент загрузки для трансформаторов ГПП 16 МВА при номинальном режиме равен:

$$K_3 = \frac{S_p}{2 \cdot S_{ном.т}} = \frac{12732,49}{2 \cdot 16000} = 0,398, \quad (2.20)$$

Расчетный коэффициент загрузки для трансформаторов ГПП мощностью 16 МВА при аварийном режиме равен:

$$K_{з.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} = \frac{12732,49}{16000} = 0,796, \quad (2.21)$$

Учитывая дальнейшее развитие предприятия, из справочника для ГПП окончательно выбираются ТДН трансформаторы на номинальную мощность 16000 кВА и напряжение высокой стороны 110 кВ.

## **2.5 Картограмма нагрузок и определение центра электрических нагрузок (ЦЭН)**

### **2.5.1 Картограмма нагрузок**

Одними из основных звеньев системы электрического снабжения предприятий являются ГПП и ТП подстанции. В связи с этим, отыскание оптимального места размещения подстанции на территории промышленного предприятия есть важным моментом построения рациональной системы электроснабжения.

С целью определения места расположения ГПП и ТП в процессе проектирования системы электроснабжения на генеральном плане производится построение картограммы нагрузок, представляющей собой окружности, нанесенные на генеральном плане, площадь которых для выбранного масштаба соответствует расчётной нагрузке по цехам. На каждом цехе наносится собственная окружность, у которой центр совпадает с центром потребляемых цехом электрических нагрузок.

Центром нагрузок цеха или предприятия является символический центр потребления электроэнергии цеха или предприятия в целом. ГПП или ТП следует располагать в этом Центре. Такое расположение позволяет снизить затраты на проводниковые материалы и сократить потери электрической энергии. Благодаря картограмме электрических нагрузок у проектировщика появляется возможность наглядного представления распределения нагрузок по

всей территории промышленного предприятия.

Площадь окружности в масштабном соотношении соответствует расчетному значению нагрузки соответствующего цеха  $P_i$ :

$$P_i = \pi \cdot r_i^2, \quad (2.22)$$

Из выражения (2.22) величина радиуса окружности может быть определена следующим выражением:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}}, \quad (2.23)$$

где:

$P_i$  - значение мощности  $i$ -го цеха;

$m$  - значение коэффициента масштабирования определяющего площади кругов (имеет постоянное значение для всех цехов предприятия).

Силовые нагрузки до и выше 1 кВ изображаются как отдельные круги или сектора в круге. Считается, что нагрузка по цеху распределяется равномерно, в связи с чем центр нагрузок совпадает с центром тяжести фигуры, которая изображает цех на плане предприятия.

Нагрузка освещения наносится как сектор круга, изображающего нагрузку до 1 кВ, при этом угол изображенного сектора  $\alpha$  определяется расчетным соотношением активных  $P_{px}$  и цеховых нагрузок освещения  $P_{co}$ .

Для построения картограмм необходимо найти значения полных расчетные нагрузки освещения по цехам, которые нами были ранее рассчитаны в таблице 1.2.

В качестве примера приведен расчет для цеха термической обработки №1:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{1560}{3,14 \cdot 0,5}} = 28, \quad (2.24)$$

$$\alpha = 360 \cdot \frac{P_{poi}}{P_{pi}} = \frac{328,3}{1560} = 96^\circ. \quad (2.25)$$



Данные расчетов для остальных цехов сведены в таблице 2.3. Картограмма электрических нагрузок по корпусам представлена на генеральном плане предприятия.

Таблица 2.3 - Данные для построения картограммы нагрузок для каждого цеха

№	Наименование цеха	$P_{p0i}$	$P_{pi}$	радиус R	угол $\alpha$	$X_i$	$Y_i$
1	Цех термической обработки №1	328,3	1560	28	96	176	378
2	Цех термической обработки №127	164,16	1242	31,43	74	463	354
3	Цех механической обработки №103	153,9	308,94				
4	Кузнечно-прессовый цех №105	164,16	1176	34,15	59	463	226
5	Цех термической обработки №137	136,8	654,8				
6	Бытовая часть(отделы) корпус 4	119,8	761,8	20,2	67	687	378
7	Бытовая часть(отделы) корпус 5	49,92	691,92	20,2	28	122	494
8	Бытовая часть(отделы) корпус 6	24,96	666,96	20,2	14	394	494
9	Цех механической обработки №124	133,65	354,45	11,86	218	290	329
10	Кольцепрокатный стан	214,27	1197	25	79	167	249
11	Цех механической обработки №124	135	543	21,52	97	696	150
12	Склад	8,45	34,448				
13	Цех термической обработки №137	54	150				
14	Южная проходная	15,5	54,504	4,98	143	599	3
15	Заводуправление	46,8	262,8	17,34	93	27	360
16	Столовая	57,375	153,375				
17	Главная проходная	17,4	56,4				

### 2.5.2 Расчет условного центра электрических нагрузок

В настоящее время существуют математические методы, позволяющие аналитическим путём найти центр электрических нагрузок (ЦЭН) не только отдельных цехов, но и всего промышленного предприятия. Среди них могут быть выделены три основных метода.

Для применяемого метода, используются некоторые положения, известные из курса теоретической механики, которые дают возможность определения ЦЭН цеха или предприятия в соответствии с конкретными требованиями с большой или меньшей степенью точности (приблизительно).

Так, в случае принятия теории равномерного распределения нагрузок цеха по его площади, центр нагрузок цеха может быть принят совпадающим с центром тяжести фигуры, которая изображает цех на плане. Если учитывать действительное распределение нагрузок в цеху, положение центра нагрузок более не будет совпадать с центром тяжести фигуры, изображающей цех на плане, а отыскание положения центра нагрузки сводится к определению центра тяжести масс.

Таким образом определен ЦЭН для ГПП и ТП, но установка их точно в центре электрических нагрузок не всегда является технически возможной.

Таблица 2.4 – ЦЭН на картограмме нагрузок

№	Наименование цеха	Xi	Yi	Ppi	PpiXi	PpiYi
1	Цех термической обработки №1	176	378	1560	$2,168 \cdot 10^5$	$4,657 \cdot 10^5$
2	Цех термической обработки №127	463	354	1242	$5,709 \cdot 10^5$	$4,365 \cdot 10^5$
	Цех механической обработки №103			308,94		
3	Кузнечно-прессовый цех №105	463	226	1176	$7,084 \cdot 10^5$	$3,458 \cdot 10^5$
	Цех термической обработки №137			654,8		
4	Бытовая часть(отделы) корпус 4	687	378	761,8	$4,411 \cdot 10^5$	$2,427 \cdot 10^5$
5	Бытовая часть(отделы) корпус 5	122	494	691,92	$7,832 \cdot 10^4$	$3,171 \cdot 10^5$
6	Бытовая часть(отделы) корпус 6	394	494	666,96	$2,529 \cdot 10^5$	$3,171 \cdot 10^5$
7	Цех механической обработки №124	290	329	354,45	$6,403 \cdot 10^4$	$7,264 \cdot 10^4$
8	Кольцепрокатный стан	167	249	1197	$1,641 \cdot 10^5$	$2,446 \cdot 10^5$
9	Цех механической обработки №124	696	150	543	$3,689 \cdot 10^5$	$7,95 \cdot 10^4$
	Склад			34,448		
	Цех термической обработки №137			150		
10	Южная проходная	599	3	54,504	$2,336 \cdot 10^4$	117
11	Заводоуправление	27	360	262,8	$9,477 \cdot 10^3$	$1264 \cdot 10^5$
	Столовая			153,375		
	Главная проходная			56,4		

Координаты расположения условного центра электрических нагрузок по всему предприятию определяются в соответствии со следующими выражениями:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^7 P_{pi\Sigma} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^7 P_{pi}} = \frac{2,898 \cdot 10^6}{9,376 \cdot 10^6} = 309,105 \text{ м.}, \quad (2.26)$$

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^{23} P_{pi\Sigma} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^{23} P_{pi}} = \frac{2,648 \cdot 10^6}{9,376 \cdot 10^6} = 282,435 \text{ м.} \quad (2.27)$$

## 2.6 Количество и мощность трансформаторов ЦТП с учетом КУ

Предварительное определение числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций производят в соответствии с требуемой степенью надежности электроснабжения и распределением между ТП потребителей электроэнергии до 1кВ.

Номинальная мощность цеховых ( $S_{HT}$ ) выбирается в соответствии с расчетной мощностью, исходя из условий обеспечения экономичности работы трансформаторов (60–80%) для нормального режима и допустимого значения перегрузки (30–40%) от значения  $S_{HT}$  для поставарийного режима.

Согласно ГОСТу 14209-85 и 11677-75 цеховые трансформаторы имеют следующий ряд номинальных мощностей: 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500 кВА. В настоящее время выполняются комплектные цеховые ТП (КТП) и для всех случаев, когда этому не препятствуют условия по обслуживанию и окружающей среде, устанавливаются открытым способом.

Ориентировочное определение количества и значения мощности трансформаторных подстанций для цеха производят на основании удельной плотности нагрузок ( $\sigma$ ):

$$\sigma = \frac{S_p}{F}, \quad (2.28)$$

где:

$S_p$  – расчетное значение цеховой нагрузки (кВА);

$F$  – значение площади цеха ( $\text{м}^2$ ).

Если значение плотности нагрузок  $\sigma < 0,2$ , рекомендуется принимать мощность трансформаторов до  $1000 \text{ кВА}$ , при значениях  $0,2 < \sigma < 0,3$  мощность трансформаторов должна быть  $16000 \text{ кВА}$ , если же значение  $\sigma > 0,3 \text{ кВА/м}^2$ , к применению рекомендованы трансформаторы с мощностью  $1600-2500 \text{ кВА}$ .

Выбрав мощности трансформаторов определяется их количество:

$$N_m = \frac{S_p}{S_{nm} \cdot K_3}, \quad (2.29)$$

где:

$K_3 = \frac{S_p}{2S_n}$  – определяющий загрузку для нормального режима коэффициент.

Значение этого коэффициента для цехов первой категории должно быть равно  $0,65-0,7$ ; для цехов второй категории значение выбирается равным  $0,7-0,8$ , а загрузка цехов третьей категории принимается равной  $0,9-0,95$ .

Значение коэффициента загрузки для аварийного режима должно быть не более значения  $1,4$  и определяется в соответствии с выражением:

$$\hat{E}_{\text{св}} = \frac{S_p}{S_i} \quad (2.30)$$

Для корректного выбора трансформаторных подстанций, необходимо определение значения мощности компенсирующих устройств (КУ).

Мощность КУ (расчетная) определяется в соответствии с выражением:

$$Q_{\text{ку}} = P_{\text{сз}} | \text{tg} \varphi_n - \text{tg} \varphi_2 |, \quad (2.31)$$

где:

$$\text{tg} \varphi_n = \frac{Q_p}{P_p}, \quad (2.32)$$

$$\text{tg} \varphi_2 = 0,33, \quad (2.33)$$

$$P_{\text{сз}} = P_p \cdot \frac{T}{T_2} \cdot \frac{\text{ма}}, \quad (2.34)$$

По справочным данным выбирается стандартизованное значение мощности КУ для каждого трансформатора и определяется некомпенсированная мощность:

$$Q_p' = Q_{pi} - N \cdot Q_{KV.CT}, \quad (2.35)$$

где:

$N$  – количество батарей.

Затем находится значение полной мощности и, если необходимо, производится изменение номинала трансформаторов и (или) их количества.

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q^2}, \quad (2.36)$$

Расчет мощностей трансформаторов и их количества представлен в таблице 2.5

## 2.7 Выбор схемы электроснабжения ГПП

Главными источниками электроснабжений промышленных предприятий являются электростанции и сети энергосистемы.

В зависимости от суммарной установленной мощности все предприятия можно условно разделить на крупные (мощность 75-100 МВт), средние (мощность до 75МВт) и малые (мощность до 5 МВт).

Рассматриваемое предприятие относится к предприятиям средней мощности.

На предприятиях большой мощности, где преобладают потребители первой категории и есть наличие мощных обособленных групп приёмников электроэнергии, осуществляется поэтапное развитие предприятия, при экономически целесообразном выполнении питание второй очереди за счет отдельного пункта приема электроэнергии, или в случае, когда приёмные пункты выполняют одновременно функции РП и их установка является экономически обоснованной применяются схемы с двумя и более приемными пунктами.

Поскольку в данном проекте отсутствуют специальные требования по обеспечению бесперебойности питания для компактного расположения нагрузки принимается схема с одним общим приемным пунктом электроэнергии (ГПП).

Поскольку имеются нагрузки 1-й категории, применяются секционные шины приемного пункта с запитыванием отдельной линией на каждую секцию.

Запитка от энергосистемы осуществляется двумя линиями с размещением на подстанции как минимум двух трансформаторов. Пропускная способность по линиям и трансформаторам должна обеспечивать запитку всех потребителей энергии 1-й категории и основных нагрузок 2-й категории в поставарийном режиме с учетом допустимых перегрузок при выходе из строя одного трансформатора.

В процессе построения системы электроснабжения исходим из соображений раздельной работы линий и питающих трансформаторов, поскольку это ведет к снижению уровня токов короткого замыкания и упрощению схемы коммуникаций и релейной защиты.

Для предприятий, получающих питание от районных сетей  $35, 110, 220$  кВ и имеющих среднюю и большую мощность, широко применяется схема глубокого ввода, которая характеризуется максимально, насколько это возможно, приближенным высшим напряжением к электроустановкам потребителей при минимальной величине ступеней промежуточной трансформации и аппаратов.

При прохождении по территории предприятия на линиях глубоких вводов имеются выполненные ответвления, идущие к расположенным вблизи питаемых нагрузок, подстанциям глубоких вводов (ПГВ). Обычно ПГВ имеют простую схему выполнения не имеющую выключатели и сборные шины на стороне высокого напряжения. Глубокие вводы выполняются как магистральные ВЛ и как радиальные воздушные кабели.

Таблица 2.5 – Определение количества и мощности трансформаторов при учете компенсирующих устройств

Номер	№ ТП	Питание нагрузки цеха	Расчетная мощность				Кол-во во КУ	Полная нагрузка		Число тр-ров	Sном.т	Кзн	Кза
			Рр, кВт	Qр, кВар	Qрку, кВар	Qнку, кВар		Qр, кВар	Sp, кВа				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	ТП -1	Цех термической обработки №1	1560	862,4	364,26	300	1	562,4	1659	2	1600	0,518	1,037
2	ТП -2	Цех термической обработки №127	1242	754,6	318,72	300	1	454,6	1323	2	1600	0,512	1,024
3		Цех механической обработки №103	308,94	108,528	45,84	45	1	63,528	315,404				
4	ТП -3	Кузнечно-прессовый цех №105	1176	870,32	428,6	400	1	470,32	1267	2	1600	0,614	1,227
5		Цех термической обработки №137	654,8	388,5	173,85	150	1	238,5	696,883				
6	ТП -4	Бытовая часть(отделы) корпус 4	761,8	513,6	241,12	220	1	293,6	816,427	2	1000	0,408	0,816
7		Бытовая часть(отделы) корпус 5	691,92	513,6	241,12	220	1	293,6	751,634				
8	ТП -6	Бытовая часть(отделы) корпус 6	666,96	513,6	241,12	220	1	293,6	728,723	2	1000	0,364	0,729
9		Цех механической обработки №124	354,45	154,56	65,28	62,5	1	92,06	366,21				
10	ТП -8	Кольцеобразный стан	1197	687,75	290,49	275	1	412,75	1266	2	1000	0,633	1,266
11		Цех механической обработки №124	543	285,6	120,63	120	1	165,6	567,69				
12	ТП -9	Склад	34,448	20,8	9,765	5	1	15,8	37,899	2	1000	0,381	0,763
13		Цех термической обработки №137	150	67,2	28,384	20	1	47,2	157,251				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
14	ТП -10	Южная проходная	54,504	27,3	11,531	10	1	17,3	57,184	2	100	0,286	0,572
15		Заводоуправление	262,8	187,9 2	93,205	90	1	97,92	280,45				
16	ТП -11	Столовая	153,37 5	83,52	41,425	40	1	43,52	159,43	2	630	0,396	0,712
17		Главная проходная	56,4	27,3	11,531	10	1	17,3	58,994				



Глубокие магистральные вводы применяются при нормальной и мало загруженной окружающей среде, когда есть возможность проведения на территории предприятия воздушных линий напряжением  $110-220 \text{ кВ}$  и размещения в непосредственной от основных групп потребителей энергии близости ПГВ.

Радиальные глубокие вводы применяют для загрязненной окружающей среде. Радиальные кабельные вводы используют когда невозможна прокладка воздушных линий или же размещение громоздких подстанций  $110-220 \text{ кВ}$  осуществляющих ответвление. Радиальные схемы глубокого ввода имеют большую гибкость и эксплуатационное удобство по сравнению со схемами магистрального питания.

При всей своей максимальной простоте и дешевизне выполнение схем глубокого ввода по надёжности не уступает случаям, когда применяются схемы централизованного электроснабжения, и могут применяться для любых категорий снабжения.

## 2.8 Выбор сечения питающей линии и распределительных сетей

### 2.8.1 Расчет потерь ЦТП

Потери трансформаторов определяются активными потерями, включающими активные потери холостого хода и короткого замыкания и реактивными потерями, включающими в себя реактивные потери холостого хода и короткого замыкания.

Расчет ведется в соответствии со следующими формулами.

Активные и реактивные трансформаторные потери:

$$\Delta D_{\delta} = \Delta D_{\delta\delta} + \Delta D_{\hat{e}_{\zeta}} \cdot \hat{e}_{\zeta}^2, \quad (2.37)$$

$$\Delta Q_{\delta} = \Delta Q_{\delta\delta} + \Delta Q_{\hat{e}_{\zeta}} \cdot \hat{e}_{\zeta}^2 = \frac{S_{H.T} I_{XX}}{100} + \frac{S_{H.T} U_{\hat{e}_{\zeta}}}{100} \cdot \hat{e}_{\zeta}^2 \quad (2.38)$$

где:

$\Delta P_T, \Delta P_{K3}, I_{XX}, U_{K3}$  необходимо принимать в соответствии со справочными данными для выбранных трансформаторных подстанций.

Значение полной нагрузки линии определяется в соответствии с формулами:

$$D'_D = i \cdot \Delta D_D + D_D \quad (2.39)$$

$$Q'_D = i \cdot \Delta Q_D + Q_D \quad (2.40)$$

$$S'_P = \sqrt{P'^2 + Q'^2} \quad (2.41)$$

где:

$n$  – количество трансформаторов.

Данный расчет значений подробно представляется, для питающей цех термической обработки №1 ТП-1.

Характеристики для трансформатора ТМ-1600/6:

$$\Delta P_{XX} = 2,35 \text{ кВт}, \Delta P_{K3} = 18 \text{ кВт}, I_{XX} = 1,3\%, U_{K3} = 6,5\%.$$

Значение активных и реактивных трансформаторных потерь:

$$\Delta P = 2,35 + 18 \cdot 0,268 = 7,174 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q = \frac{1600 \cdot 1,3}{100} + \frac{1600 \cdot 6,5 \cdot 0,268}{100} = 27,8 \text{ кВар}.$$

Значение полной нагрузки линии:

$$P'_P = n \cdot \Delta P + P_P = 2 \cdot 7,17 + 1560 = 1574 \text{ кВт},$$

$$Q'_P = n \cdot \Delta Q + Q_P = 2 \cdot 27,8 + 862,4 = 959,74 \text{ кВар},$$

$$S'_P = \sqrt{P'^2 + Q'^2} = \sqrt{1574^2 + 959,74^2} = 1844 \text{ кВа}.$$

По остальным трансформаторным подстанциям результаты расчета представлены в таблице 2.6

## 2.8.2 Выбор сечения проводов питающей линии

Техническими факторами, влияющими на выбор сечения кабелей являются:

$$I_{p.ав} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{11200,25}{\sqrt{3} \cdot 110} = 58,786 \text{ А}, \quad (2.42)$$

$$I_{p.н} = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{11200,25}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 29,393 \text{ А}. \quad (2.43)$$

минимальное допустимое сечение по условиям нагрева принимаем  $S_H = 35 \text{ мм}^2$ .

Длина, которую может иметь линия по условию потерь напряжения при расстоянии от подстанции энергосистемы  $15 \text{ км}$ .

$$\Delta U_\phi = 469 \text{ В} < \Delta U_{доп} = 10\% = 11000 \text{ В}, \quad (2.44)$$

$$L_{доп} = L_{\Delta u 1\%} \cdot \Delta U_{доп} \cdot \frac{I_{доп}}{I_p} = 1,65 \cdot 10 \cdot \frac{135}{29,393} = 75,78 \text{ км}. \quad (2.45)$$

где:

$$L_{\Delta u 1\%} = 1,65 \text{ по справочным данным [2]; } \Delta U_{доп} = 10\%.$$

Принимаем минимальное допустимое сечение по потерям напряжения:

$$S_{\Delta U} = 35 \text{ мм}^2.$$

Проверка выбранного сечения по экономической плотности тока дает:

$$S_\varepsilon = \frac{I_p}{j_\varepsilon} = \frac{29,393}{1,1} = 26,72 \text{ мм}^2, \quad (2.46)$$

По справочным данным принимается провод АС-35.

Таблица 2.6 – Потери мощности в трансформаторах

№	№ ТП	Тип трансформатора	Сном.т	Число трансформаторов	$\Delta P_{XX}$	$\Delta P_{K3}$	$I_{XX}$ %	$U_{K3}$ %	$K_3$	$K_3^2$	$\Delta P$	$\Delta Q$	$P_p$ кВт	$Q_p$ кВар	$P_p$	$Q_p$	S'p
1	ТП-1	ТМ1	1600	2	2,35	18	1,3	6,5	0,518	0,268	7,17	48,67	1560	862,4	1574	959,74	1844
2	ТП-2	ТМ1	1600	2	2,35	18	1,3	6,5	0,512	0,262	7,06	48,05	1550,94	863,128	1565	959,228	1836
3	ТП-3	ТМ1	1600	2	2,35	18	1,3	6,5	0,614	0,377	9,14	60,01	1830,8	1258,82	1849	1379	2307
4	ТП-4	ТМ1	1000	2	1,9	12,2	1,7	5,5	0,408	0,166	3,93	26,13	761,8	513,6	769,66	565,86	954,804
5	ТП-5	ТМ1	1000	2	1,9	12,2	1,7	5,5	0,376	0,141	3,62	24,76	691,92	513,6	699,16	563,12	897,735
6	ТП-6	ТМ1	1000	2	1,9	12,2	1,7	5,5	0,364	0,132	3,51	24,26	666,96	513,6	673,98	562,12	877,626
7	ТП-7	ТМ1	400	2	0,9	5,5	1,8	4,5	0,458	0,210	2,05	10,98	354,45	154,56	358,55	176,52	399,647
8	ТП-8	ТМ1	1000	2	1,9	12,2	1,7	5,5	0,633	0,401	6,79	39,05	1197	687,75	1211	765,85	1433
9	ТП-9	ТМ1	1000	2	1,9	12,2	1,7	5,5	0,381	0,145	3,67	24,98	727,45	373,6	734,79	423,56	848,127
10	ТП-10	ТМ1	100	2	0,305	2,0	2,2	4,5	0,286	0,082	0,47	2,57	54,504	27,3	55,44	32,44	64,237
11	ТП-11	ТМ1	630	2	1,25	7,6	1,7	5,5	0,396	0,157	2,44	16,15	472,58	298,72	477,46	331,02	580,984

### 2.8.3 Выбор сечения кабельных линий напряжением выше и до 1 кВ

По нагреву длительно допустимому току нагрузки:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad I_p < I_{доп} \quad (2.47)$$

Пример расчёта кабельной линии. По представленным в таблице 2.7 данным определяем расчетные номинальный и аварийный токи:

$$I_{p.ав} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1659}{\sqrt{3} \cdot 6} = 159,64 \text{ A}, \quad (2.48)$$

$$I_{p.н} = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1659}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 79,82 \text{ A}. \quad (2.49)$$

По справочным данным [2] выбираем кабель ААШв с  $I_{доп} = 180 \text{ A}$  сечением  $70 \text{ мм}^2$ .

По условиям плотности тока:

$$S_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{э}}} = \frac{79,82}{1,2} = 66,517 \text{ мм}^2, \quad (2.50)$$

принимаем сечение  $70 \text{ мм}^2$ .

По условию потерь напряжения кабеля не проверяются так как длина ни одного из них не превышает  $1 \text{ км}$ .

По условию термической стойкости:

$$S = I_{уд} \cdot 12 \cdot \sqrt{t_{ср.выкл} + t_{ср.реле}} = 6,6 \cdot 12 \cdot \sqrt{0,11} = 3,75 \text{ мм}^2. \quad (2.51)$$

Выбранный нами кабель с сечением  $70 \text{ мм}^2$  проходит по всем условиям.

Выбор кабеля линий сведем в табл. 2.7

Таблица 2.7 – Выбор кабелей

Линия	Назначение	Sp	Кол-во линий	Нагрузка		Способ прокладки кабеля	L, км	Попр ав. коэф ф	Ид	Допуск на груз ка			S <sub>з</sub>	Марка и сечение кабеля
				Ир	Ир ав					Идн	Ид ав	S <sub>наг</sub> , мм		
Л1	ГПП-ТП1	1659	2	159,64	79,82	Траншея	0,44	0,8	180	180	234	66,5	ААШв(3*70)	
Л2	ГПП-ТП2	1638,4	2	157,66	78,83	Траншея	0,47	0,8	180	180	234	66,7	ААШв(3*70)	
Л3	ГПП-ТП3	1963,88	2	188,97	94,49	Траншея	0,13	0,8	213	213	277	78,7	ААШв(3*50)	
Л4	ГПП-ТП4	816,427	2	78,561	39,28	Траншея	0,30	0,8	121	121	157	32,7	ААШв(3*35)	
Л5	ГПП-ТП5	751,634	2	72,33	36,16	Траншея	0,46	0,8	121	121	157	30,1	ААШв(3*35)	
Л6	ГПП-ТП6	728,723	2	70,12	35,06	Траншея	0,13	0,8	121	121	157	29,2	ААШв(3*35)	
Л7	ГПП-ТП7	366,21	2	35,24	17,62	Траншея	0,37	0,8	121	121	157	14,7	ААШв(3*35)	
Л8	ГПП-ТП8	1266	2	121,81	60,91	Траншея	0,52	0,8	149	149	194	50,8	ААШв(3*50)	
Л9	ГПП-ТП9	762,84	2	73,4	36,7	Траншея	0,42	0,8	121	121	157	30,6	ААШв(3*35)	
Л10	ГПП-ТП10	57,184	2	5,5	2,75	Траншея	0,24	0,8	121	121	157	2,3	ААШв(3*35)	
Л11	ГПП-ТП11	498,87	2	48	24	Траншея	0,30	0,8	121	121	157	20	ААШв(3*35)	
Линии 0,4 кВ														
Л12	ТП2-РП1	315,404	1	455,3	227,6	Траншея	0,24	1	485	485	631	189,7	ВВГ(1*400)	
Л13	ТП3-РП2	1963,88	1	2835	1417	Траншея	0,30	1	793	793	1031	1181	4хВВГ(1*1000)	
Л14	ТП4-РП3	816,427	1	1178	589,2	Траншея	0,46	1	793	793	1031	491	2хВВГ(1*1000)	
Л15	ТП5-РП4	751,634	1	1085	542,45	Траншея	0,50	1	793	793	1031	452	2хВВГ(1*1000)	
Л16	ТП6-РП5	728,723	1	1052	525,9	Траншея	0,35	1	793	793	1031	438,3	2хВВГ(1*1000)	
Л17	ТП7-РП6	366,21	1	528,58	264,29	Траншея	0,15	1	556	556	723	220,3	ВВГ(1*500)	
Л18	ТП8-РП7	1266	1	1827	913,66	Траншея	0,21	1	793	793	1031	761,4	3хВВГ(1*1000)	
Л19	ТП9-РП8	762,84	1	1101	550,53	Траншея	0,30	1	556	556	723	458,8	2хВВГ(1*500)	
Л20	ТП10-РП9	57,184	1	82,54	41,27	Траншея	0,41	1	127	127	165	34,4	ВВГ(1*35)	
Л21	ТП11-РП10	498,87	1	720,05	360,02	Траншея	0,36	1	485	485	631	300	2хВВГ(1*400)	

## **2.9 Расчет токов короткого замыкания и выбор высоковольтного защитного оборудования**

### **2.9.1 Расчет токов короткого замыкания**

Короткое замыкание – одна из основных причин нарушения нормального функционирования электроустановок или даже целой энергосистемы. Короткое замыкание - это соединение между двумя фазами, между фазой или фазами и землей или же между различными витками одной фазы обмоток двигателей, генераторов или трансформаторов. На практике чаще всего встречаются дуговые соединения или глухие, чаще называемые “металлическими” замыкания.

Несмотря на то, что токи короткого замыкания в большинстве случаев имеют незначительное время существования ( $0,05 - 5с.$ ), приходится вести их тщательный расчет и производить учет по той причине, что вследствие их тепло-динамического воздействия имеется возможность возникновения серьезных повреждений электрооборудования и проводников.

В вариантах использования генераторов малой мощности проблема токов короткого замыкания не возникала, однако в настоящее время с установкой в системах мощных генераторных установок, трансформаторов и двигателей эта проблема становится весьма актуальной. Возникает вопрос координирования уровней токов короткого замыкания на электрических станциях и в сетях, вопрос разработки стратегии построения сетей энергетических систем в перспективе и согласования параметров различного электрооборудования и уровней токов короткого замыкания в сетях различного напряжения.

Правильность выбора аппаратов и проводников напряжением  $6 - 35 кВ$  производится по току трехфазного короткого замыкания (к.з.), а для напряжения  $110 кВ$  и выше - по току трехфазного или однофазного к.з. Расчет токов к.з. производится в основных узлах коммутации схемы электроснабжения. Для определения наибольшего возможного тока к.з. для

каждого узла следует принимать, что в системе включены все генераторы, трансформаторы и линии электропередач (ЛЭП) подстанций.

С целью отыскания значений токов короткого замыкания для расчетной схемы составляется схема замещения, в которой производится указание сопротивлений всех потребителей и источников, а также намечаются вероятные точки расчета токов короткого замыкания.

Возникновение короткого замыкания сети или элементов электрооборудования как вследствие повреждения изоляции или некорректных действий персонала, обслуживающего сеть, является главной причиной нарушающей нормальный режим работы системы электроснабжения. Для уменьшения ущерба, а также обеспечения быстроты восстановительных работ по обеспечению нормального режима системы электроснабжения необходимо выполнить правильное определение токов короткого замыкания и произвести выбор электрооборудования и защитной аппаратуры.

Для правильного выбора аппаратов и проводников, определений воздействия, осуществляемого на несущие конструкции, в процессе расчета токов короткого замыкания исходим из следующих предположений: все участники питания рассматриваемых точек короткого замыкания работают на номинальной нагрузке. За момент времени возникновения короткого замыкания принимается такой, при котором ток короткого замыкания имеет наибольшее значение. Для всех источников питания наблюдается совпадение ЭДС по фазе. Расчет производится в относительных единицах.

Схема для расчета токов к.з. представлена на рис. 2.1, а схема замещения показана на рис. 2.2. В качестве базисных единиц принимаются значение номинальной мощности трансформатора  $S_B = 16 \text{ МВА}$  и среднего напряжения ступени с точками КЗ и  $U_B = 6 \text{ кВ}$ .

Базисный ток определяется выражением:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1,54 \text{ кА}, \quad (2.52)$$



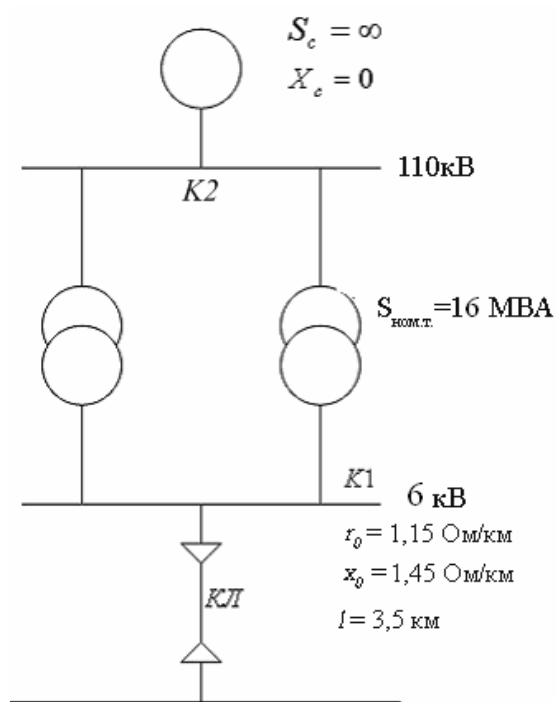


Рисунок 2.1 – Схема для расчета токов короткого замыкания.

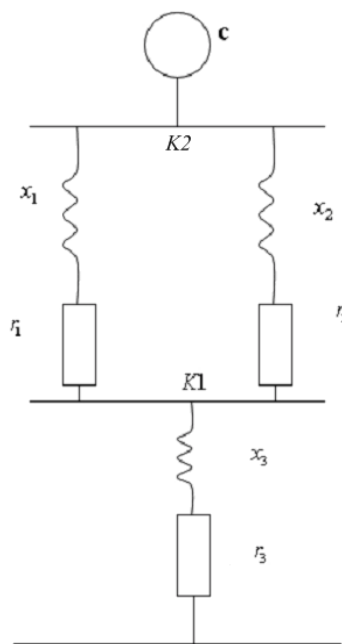


Рисунок 2.2 – Схема замещения.

Рассчитаем значения базисных единиц сопротивлений элементов схемы замещения:

$$r_1 = r_2 = \frac{\Delta P_k \cdot S_B}{S_{НОМ.Т}} = \frac{90 \cdot 10^{-3} \cdot 16}{16} = 0,09, \quad (2.53)$$

$$x_1 = x_2 = \sqrt{\left(\frac{U_k}{100}\right)^2 - r_1^2} \cdot \frac{S_B}{S_{НОМ.Т}} = \sqrt{\left(\frac{3,4}{100}\right)^2 - 0,09^2} \cdot \frac{16}{16} = 0,019. \quad (2.54)$$

Для кабельной линии:

$$x_3 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_B^2} = 1,45 \cdot 3,5 \cdot \frac{16}{6^2} = 2,256, \quad (2.55)$$

$$r_3 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_B^2} = 1,15 \cdot 3,5 \cdot \frac{16}{6^2} = 1,789. \quad (2.56)$$

Значение суммарного сопротивления до точки К2:

$$x_{\Sigma 2} = \frac{x_1 x_2}{x_1 + x_2} + x_3 = 0,0095 + 2,256 = 2,2655, \quad (2.57)$$

$$r_{\Sigma 2} = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} + r_3 = 0,045 + 1,789 = 1,834. \quad (2.58)$$

Значение суммарного сопротивления до точки К1:

$$x_{\Sigma 1} = \frac{x_1 + x_2}{2} = 0,019 \quad (2.59)$$

$$r_{\Sigma 1} = \frac{r_1 + r_2}{2} = 0,09 \quad (2.60)$$

Для рассчитанных значений производится проверка условия:

$$r_{\Sigma} < \frac{x_{\Sigma}}{3} \quad (2.61)$$

Для точки К1:

$$0,09 > \frac{0,019}{3} = 0,006$$

Условие не выполняется.

Для точки К2:

$$1,834 > \frac{2,2655}{3} = 0,755$$

Условие не выполняется.

Таким образом, и для первого случая и для второго случая значения реактивного сопротивления учитываются.

Учитывая реактивные сопротивления, ток короткого замыкания в рассмотренных точках составит:

$$I_{K1} = \frac{I_B}{Z_{\Sigma 1}} = \frac{1,54}{\sqrt{0,09^2 + 0,019^2}} = 16,74 \text{ кА}, \quad (2.62)$$

$$I_{K2} = \frac{I_B}{Z_{\Sigma 2}} = \frac{1,54}{\sqrt{1,834^2 + 2,2655^2}} = 0,528 \text{ кА}. \quad (2.63)$$

Определим ударный ток для точек К1 и К2 в зависимости от значения

отношения  $\frac{X_{\Sigma}}{r_{\Sigma}}$ .

Для точки К1:

$$\frac{x_{\Sigma 1}}{r_{\Sigma 2}} = \frac{0,019}{0,09} = 0,21, \quad K_{вд1} = 1,1, \quad (2.64)$$

Для точки К2:

$$\frac{x_{\Sigma 1}}{r_{\Sigma 2}} = \frac{2,2655}{1,834} = 1,23, \quad K_{вд2} = 1,1, \quad (2.65)$$

Соответственно, ударные токи в рассмотренных точках будут равны:

$$I_{вд1} = 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1} = 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot 16,74 = 26,04 \text{ кА}, \quad (2.66)$$

$$I_{вд2} = 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K2} = 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,528 = 0,82 \text{ кА}. \quad (2.67)$$

Мощности короткого замыкания в рассматриваемых точках равны:

$$S_{K1} = \sqrt{3} \cdot U_B \cdot I_{K1} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 16,74 = 173,967 \text{ МВА}, \quad (2.68)$$

$$S_{K2} = \sqrt{3} \cdot U_B \cdot I_{K2} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,528 = 5,487 \text{ МВА}. \quad (2.69)$$

Результаты расчётных значений показаны в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Расчетные значения для токов короткого замыкания

Точка КЗ	U, кВ	$Z_{\Sigma}$	$I_k$ , кА	$I_y$ , кА	$S_x$ , МВА
К1	6	0,092	16,74	26,041	173,967
К2	6	2,915	0,528	0,821	5,487

### 2.9.2 Выбор и проверка электрического оборудования

В условиях эксплуатации такое оборудование как электрические аппараты, изоляторы и токоведущие устройства работает в трех основных режимах: длительный режим, режим перегрузки и режим короткого замыкания.

При работе в длительном режиме надежность работы аппаратов, изоляторов и токоведущих устройств обеспечивается правильностью выбора их по номинальным значениям напряжения и тока.

Для режима перегрузки надежность работы аппаратов и других устройств электроустановок обеспечивается ограничениями повышения значений и длительностей напряжения или тока в пределах, когда еще может гарантироваться нормальная работа электрических установок благодаря запасу прочности.

Для режима короткого замыкания надежность работы аппаратов, изоляторов и токоведущих устройств обеспечивается соответствующим выбором параметров по различным условиям стойкости. При использовании автоматов, предохранителей и выключателей нагрузки добавляется условие по их выбору по отключающей способности.

Производим выбор автоматов.

Значение тока термической стойкости:

$$I_{\text{т}} = I_{\text{н.т.}} \cdot \sqrt{\frac{t_{\text{п}}}{t_{\text{н.т.}}}} \quad (2.70)$$

где:

$t_{\text{п}} = 1,25\text{с.}$  - приведенное время для к.з.;

$t_{\text{н.т.}} = 10\text{с.}$  - время, номинального тока термической устойчивости выключателей.

Условия выбора:

$$U_{\text{нв}} \geq U_{\text{н.т.}}$$

$$I_{\text{нв}} \geq I_{\text{н.т.}}$$

$$I_{\text{нв}} \geq I_{\text{к}}$$

$$S_{HI} \geq S_{EC}$$

$$i_{\text{дл}} \geq i_0$$

$$I_{\text{откл}} \geq I_0$$

$$I_{HT} \geq I_{\text{н.т.}}$$

Выключатели 110кВ:

$$I_{m110} = I_{K1} \cdot \sqrt{\frac{1,25}{10}} = 16,74 \cdot \sqrt{\frac{1,25}{10}} = 5,918,$$

Выбираются выключатели марки ВЭБ-110, которые имеют представленные ниже технические характеристики:

$$U_{\text{нв}} = 110\text{кВ},$$

$$I_{\text{н.дл}} = 2,5\text{кА} > 1,54\text{кА},$$

$$I_{\text{н.откл}} = 40\text{кА} > 16,74\text{кА},$$

$$I_{\text{в.доп}} = 102\text{кА} > 26,04\text{кА},$$

$$I_{\text{н.т.}} = 40\text{кА} > 5,918\text{кА}.$$

Выполнены все условия что позволяет сделать вывод, что выключатель выбран верно.

Выключатели 6кВ:

$$I_{m110} = I_{K2} \cdot \sqrt{\frac{1,25}{10}} = 0,528 \cdot \sqrt{\frac{1,25}{10}} = 0,187,$$

Выбирается выключатель марки ВБЭК-10, имеющий представленные ниже технические характеристики:

$$U_{\text{нв}} = 10\text{кВ},$$

$$I_{\text{н.дл}} = 1\text{кА} > 0,793\text{кА},$$

$$I_{\text{н.откл}} = 20\text{кА} > 0,528\text{кА},$$

$$I_{\text{в.доп}} = 51\text{кА} > 0,82\text{кА},$$

$$I_{\text{н.т.}} = 20\text{кА} > 0,187\text{кА}.$$

Выполнены все условия что позволяет сделать вывод, что выключатель выбран верно.

**Разъединители**

Условия выбора:

$$U_{HB} \geq U_{H\bar{N}\bar{A}\bar{O}\bar{E}}$$

$$I_{H\bar{A}\bar{E}} \geq I_{E\bar{I}\bar{A}\bar{O}}$$

$$i_{\bar{I}\bar{A}\bar{E}} \geq i_{\bar{O}}$$

$$I_{\bar{O}\bar{A}\bar{I}} \geq I_{\bar{O}}$$

$$I_{HT} \geq I_{\bar{I}}$$

Разъединители 110кВ:

$$I_{m110} = I_{K1} \cdot \sqrt{\frac{1,25}{10}} = 16,74 \cdot \sqrt{\frac{1,25}{10}} = 5,918,$$

Выбран разъединитель марки РНД-110/600У1:

$$U_{HB} = 110кВ,$$

$$I_{H.дл} = 3,2кА > 1,54кА,$$

$$I_{У.доп} = 160кА > 26,04кА,$$

$$I_{H.T.} = 63кА > 5,918кА.$$

Разъединители 6кВ:

$$I_{m110} = I_{K2} \cdot \sqrt{\frac{1,25}{10}} = 0,528 \cdot \sqrt{\frac{1,25}{10}} = 0,187,$$

Выбран разъединитель марки РВ-10/1000У3:

$$U_{HB} = 10кВ,$$

$$I_{H.дл} = 1кА > 0,793кА,$$

$$I_{У.доп} = 4кА > 0,82кА,$$

$$I_{H.T.} = 16кА > 0,187кА.$$

## Предохранители

Условия выбора:

$$U_{HB} \geq U_{HCCET}$$

$$I_{Hдд} \geq I_{PMAH}$$

$$I_{HOOTK} \geq I_K$$

Выбираются предохранители ПКТ 101-6-31,5-3,2 У3 .

$$U_{HB} = 10кВ,$$

$$I_{H.дл} = 31,5А > 21А,$$

$$I_{H.OTK} = 3,2кА > 0,187кА.$$

НТМИ-6 – имеющий естественное масляное охлаждение трансформатор напряжения измерительных цепей, устанавливающийся на каждой секции сборных шин. К нему осуществляется подключение измерительных приборов всех секции присоединений, а также приборов контроля изоляции сети 6 кВ. Технические данные трансформатора напряжения представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Технические данные по трансформатору НТМИ-6

Тип	$U_{ном}$ , кВ	Класс точности	$S_{ном}$ , В·А	$S_{max}$ , В·А	Схема соединения
НТМИ-6-	6	0.5	300	630	Звезда/звезда/треугольник/овал

### 2.9.3 Выбор изоляторов

Для внутренней установки, крепления шин и аппаратуры распределительных устройств выбираем опорные изоляторы типа ОФ-6-375УЗ.

Проверяем выбранные изоляторы по допустимой нагрузке  $F_{расч}$ :

$$F_{расч} = 1,76 \cdot 10^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot i_{y0}^2 = 1,76 \cdot 10^2 \cdot \frac{90}{27} \cdot 45,97^2 = 123,98, \quad (2.71)$$

$$F_{доп} = 0.6 \cdot F_{разр} \quad (2.72)$$

где:

$F_{разр}$  - каталожное значение разрушающего усилия.

$F_{доп}$  - значение допустимого усилия.

$$F_{доп} > F_{расч}$$

$$F_{доп} = 0.6 \cdot 375 = 225$$

$$123,98 < 225$$

Все требуемые условия выполнены, следовательно, изоляторы проходят по условиям обеспечения механической прочности.

Для выведения из здания токоведущих частей и прокладки шин сквозь стены и перекрытия выбираем проходные изоляторы типа П-6/250-375.

Проверяем выбранные изоляторы по допустимой нагрузке  $F_{доп}$ :

$$F_{расч} = 1,76 \cdot 10^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot i_{y0}^2 = 1,76 \cdot 10^2 \cdot \frac{90}{27} \cdot 45,97^2 = 123,98,$$

$$F_{доп} = 0.6 \cdot 375 = 225$$

$$123,98 < 225$$

Все требуемые условия выполнены, следовательно, изоляторы проходят по условиям обеспечения механической прочности.

Технические данные по выбранным изоляторам приводятся в таблице 2.10

Таблица 2.10 – Технические данные по выбранным изоляторам

Тип	$U_{ном}$ , кВ	$F_{разр}$ , кгс	Высота, мм	Масса, кг
ОФ-10-375 УЗ	6	375	165	2.6
П-10/250-375	6	375	252	3.3



### 3 Электроснабжение механического цеха

#### 3.1 Определение расчетных мощностей

Установленные мощности электроприемников по механическому цеху указаны в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Установленные мощности электроприемников цеха

№	Наименование электроприемника:	$P_y$ , кВт	n	$P_\Sigma$ , кВт	$K_c$	$tg\varphi$
1	Токарно-карусельный станок	60	6	360	0,14	1,73
2	Токарный станок с ЧПУ	10	4	40	0,14	1,73
3	Токарный станок с ЧПУ	42	2	84	0,14	1,73
4	Токарно-обрабатывающей центр	18,5	1	18,5	0,14	1,73
5	Токарный станок	7,5	2	15	0,14	1,73
6	Универсальный токарный станок	5,5	1	5,5	0,14	1,73
7	Токарный станок	9,8	2	19,6	0,14	1,73
8	Плоскошлифовальный станок	6,6	3	19,8	0,14	1,73
9	Расточно-фрезерный станок	21	1	21	0,14	1,73
10	Холодильное устройство	4,7	2	9,4	0,75	0,75
11	Холодильное устройство	14,9	2	29,8	0,75	0,75
12	Зачистной станок	5	1	5	0,14	1,73
13	Токарно-винторезный станок	2,8	1	2,8	0,14	1,73
14	Ленточнопильный станок	45	3	135	0,14	1,73
15	Камера тепла	10	2	20	0,25	0,75
16	Камера тепла	12	1	12	0,25	0,75
17	Расточно-фрезерный станок	10	1	10	0,14	1,73
18	Ленточнопильный станок	22	1	22	0,14	1,73
19	Токарно-винторезный станок	6,6	1	6,6	0,14	1,73
20	Комбинированный механический станок	8	5	40	0,14	1,73
21	Токарно-карусельный станок	35	1	35	0,14	1,73
Итого				911		

Активная и реактивная расчетные мощности электроприемников определяются в соответствии с выражениями:

$$P_p = K_c \cdot P_y \quad (3.1)$$

$$Q_p = P_p \cdot tg\varphi \quad (3.2)$$

Суммарная мощность потребления определяется в соответствии с выражением:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (3.3)$$

Питание электроприёмников осуществляется от трехфазной сети переменного тока, напряжением 380 В.

Расчет мощности по вышеприведенным формулам для приемников электроэнергии, представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Расчетные значения мощностей электроприемников цеха

№	Наименование электроприемника:	$P_{в.}$ кВт	$K_c$	$tg\phi$	$P_p$ кВт	$Q_p$ кВАр	$S_p$ кВА
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Токарно-карусельный станок	60	0,14	1,73	8,4	103,8	104,139
2	Токарный станок с ЧПУ	10	0,14	1,73	1,4	17,3	17,357
3	Токарный станок с ЧПУ	42	0,14	1,73	5,88	72,66	72,898
4	Токарно-обрабатывающей центр	18,5	0,14	1,73	2,59	32	32,11
5	Токарный станок	7,5	0,14	1,73	1,05	12,975	13,017
6	Универсальный токарный станок	5,5	0,14	1,73	0,77	9,515	9,546
7	Токарный станок	9,8	0,14	1,73	1,372	16,954	17,009
8	Плоскошлифовальный станок	6,6	0,14	1,73	0,924	11,418	11,455
9	Расточно-фрейзерный станок	21	0,14	1,73	2,94	36,33	36,449
10	Холодильное устройство	4,7	0,75	0,75	3,525	3,525	4,985
11	Холодильное устройство	14,9	0,75	0,75	11,175	11,175	15,805
12	Зачистной станок	5	0,14	1,73	0,7	8,65	8,678
13	Токарно-винторезный станок	2,8	0,14	1,73	0,392	4,844	4,86
14	Ленточношлипный станок	45	0,14	1,73	6,3	77,85	78,104
15	Камера тепла	10	0,25	0,75	2,5	7,5	7,906
16	Камера тепла	12	0,25	0,75	3	9	9,487
17	Расточно-фрейзерный станок	10	0,14	1,73	1,4	17,3	17,357
18	Ленточношлипный станок	22	0,14	1,73	3,08	38,06	38,184
19	Токарно-винторезный станок	6,6	0,14	1,73	0,924	11,418	11,455
20	Комбинированный механический станок	8	0,14	1,73	1,12	13,84	13,885
21	Токарно-карусельный станок	35	0,14	1,73	4,9	60,55	60,748
Итого							568,425

### 3.2 Определение сечений кабелей

Значение сечения кабеля выбирается по расчетному току:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{ном}} \quad (3.4)$$

Откуда находится площадь поперечного сечения по кабелю:

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_p}{J_{\text{ЭК}}} \quad (3.5)$$

где:

$J_{\text{ЭК}}$  - значение экономической плотности тока, равное для кабеля  $J_{\text{ЭК}}$

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

Результаты расчетов сечений кабелей по приемникам электроэнергии показаны в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Сечения кабелей питания электроприёмщиков

№	Наименование электроприемника:	$P_{\text{в}}$ , кВт	$S_{\text{р}}$ , кВА	$I_{\text{р}}$ , А	$F_{\text{ЭК}}$ , мм <sup>2</sup>	$F$ , мм <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7
1	Токарно-карусельный станок	60	104,139	158,223	113,017	120
2	Токарный станок с ЧПУ	10	17,357	26,371	18,831	25
3	Токарный станок с ЧПУ	42	72,898	110,756	79,112	95
4	Токарно-обрабатывающей центр	18,5	32,11	48,786	34,847	35
5	Токарный станок	7,5	13,017	19,778	14,127	16
6	Универсальный токарный станок	5,5	9,546	14,504	10,36	16
7	Токарный станок	9,8	17,009	25,843	18,459	25
8	Плоскошлифовальный станок	6,6	11,455	17,405	12,432	16
9	Расточно-фрейзерный станок	21	36,449	55,378	39,556	50
10	Холодильное устройство	4,7	4,985	7,574	5,41	6
11	Холодильное устройство	14,9	15,805	24,011	17,151	25
12	Зачистной станок	5	8,678	13,185	9,418	10
13	Токарно-винторезный станок	2,8	4,86	7,384	5,274	6
14	Ленточнопильный станок	45	78,104	118,668	84,763	95
15	Камера тепла	10	7,906	12,011	8,58	10
16	Камера тепла	12	9,487	14,414	10,296	16
17	Расточно-фрейзерный станок	10	17,357	26,371	18,836	25
18	Ленточнопильный станок	22	38,184	58,015	41,439	50
19	Токарно-винторезный станок	6,6	11,455	17,405	12,432	16
20	Комбинированный механический станок	8	13,885	21,096	15,069	16
21	Токарно-карусельный станок	35	60,748	92,297	65,926	70

Далее произведем выбор сечений шинопроводов и типа кабеля из условия допустимого нагрева и потерь напряжения (принимая допустимые значения потерь в аварийном режиме равные значению 5%).

Рабочий ток на линии определяем в соответствии с выражением:

$$I_p = \frac{\sum S_p}{\sqrt{3}U_{ном}} I_p = \frac{\sum S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{568425}{\sqrt{3} \cdot 380} = 863,632 A, \quad (3.6)$$

где:

$\sum S_p$  – расчетная полная мощность цеха, равная  $\sum S_p = 568,425 \text{кВА}$ .

Выбираем кабель 2хВВГ(4х400) с номинальным током

$$I_{нд} = 2 \times 482 = 964 A, \quad (3.7)$$

$$I_p = 863,632 A < I_{нд} = 964 A. \quad (3.8)$$

Условие выбора выполняется, следовательно, кабель ВВГ4х400 мм<sup>2</sup> выбран правильно.

### 3.3 Расчет токов короткого замыкания

В установках с электрическим питанием возможно возникновение различных видов коротких замыканий, сопровождающихся резкими увеличениями тока, вследствие чего всё оборудование системы снабжение электричеством должно иметь высокую устойчивость от токов КЗ и выбираться учитывая величины этих самых токов.

Основными обстоятельствами возникновения коротких замыканий сети являются повреждения изоляции отдельных частей электроустановок, неправильные или несогласованные действия обслуживающего электроустановки персонала, перекрытие токоведущих частей установок.

Возникновение в сети короткого замыкания сопровождается прекращением питания присоединенных к точкам возникновения КЗ потребителей, нарушением работы других, осуществляющих питание от неповрежденных участков потребителей, вследствие пониженного напряжения на участке и нарушенного режима работы энергетической системы.

Определение токов короткого замыкания осуществляется по схеме замещения, составленной на основе расчетной схемы, в которой указаны сопротивления по всем источникам и потребителям и намечены вероятные точки для расчета токов короткого замыкания.

В этой работе в качестве базисных приняты номинальное значение напряжения  $U_{НОМ} = 0,4 \text{ кВ}$  и базисная мощность  $S_B = 104,139 \text{ кВА}$ .

Схема представляется системой неограниченной мощности. В данном случае для трансформаторов, напряжение короткого замыкания  $U_K\%$  (по каталожным данным)  $U_R = 4,5\%$ .

Для удобного проведения и отыскания расчетных токов короткого замыкания применена упрощенная схема замещения для точки  $K_1$  (индуктивная).

Определение этих токов производится в относительных единицах.

$$- X_{ВЛ} = x \frac{S}{U^2} = 0,99 \frac{104139}{400^2} = 0,644, \quad (3.9)$$

$$x = x_0 l_1 = 0,099 \cdot 10 = 0,99, \quad (3.10)$$

$$U_{НОМ} = 0,4 \text{ кВ}, \quad (3.11)$$

$$- X_{ТР-РА} = x \frac{S}{S_{НОМ.М}} = 0,99 \frac{104139}{1000} = 0,103, \quad (3.12)$$

$$X_{кабеля} = x_{каб} \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = 0,008 \frac{104139}{400^2} = 0,0052, \quad (3.13)$$

$$R_{ВЛ} = r \frac{S_{\delta}}{U_{НОМ}^2} = \frac{104139}{400^2} = 2,799, \quad (3.14)$$

$$r = r_0 l_1 = 0,43 \cdot 10 = 4,3. \quad (3.15)$$

$r_0 = 0,43$  при определении значения полного активного сопротивления данного трансформатора, этим значением сопротивления можно пренебречь.

$$- R_{кабеля} = r \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} = 0,026 \cdot \frac{104139}{400^2} = 0,017, \quad (3.16)$$

Базисный ток, который определяется по выбранной базисной мощности  $S_B$  равен:

$$I_{\phi} = \frac{S_{\phi}}{\sqrt{3}U_{\phi}} = \frac{104139}{\sqrt{3} \cdot 400} = 0,15 \text{ кА}, \quad (3.17)$$

Выражение для полного сопротивления в относительных единицах и приведенного к значению базисной мощности:

$$Z = \sqrt{\sum X^2 + \sum R^2}, \quad (3.18)$$

$$\sum X = 0,96 \text{ мОм}, \quad (3.19)$$

$$\sum R = 0,265 \text{ мОм}, \quad (3.20)$$

$$Z = \sqrt{0,96^2 + 0,265^2} = 0,99 \text{ мОм}. \quad (3.21)$$

В точке  $K1$  ток короткого замыкания:

$$I_{кз1} = \frac{I_{\phi}}{Z} = \frac{0,15}{0,99} = 0,15 \text{ кА}, \quad (3.22)$$

$$i_{удар} = \sqrt{2}KI_{кз1} = 1,41 \cdot 1,35 \cdot 0,15 = 0,28 \text{ кА}. \quad (3.23)$$

Также как и для точки  $K1$  составляем упрощенную схему для точки  $K2$  (индуктивного сопротивления) и (активного сопротивления)

Сопротивление шин

$$R_0 = 0,017 \text{ Ом/м}; \quad x_0 = 0,31 \text{ Ом/м}, \quad (3.24)$$

$$R_{\text{шин}} = r_0 l = 0,017 \cdot 10 = 0,17, \quad (3.25)$$

$$X_{\text{шин}} = x_0 l = 0,31 \cdot 10 = 0,31, \quad (3.26)$$

$$I_{кз2} = \frac{U}{\sqrt{3}Z_{кз}} = \frac{400}{1,73 \cdot 12,5} = 18,47 \text{ кА}, \quad (3.27)$$

$$\sum R = 0,435 \text{ мОм}, \quad (3.28)$$

$$\sum X = 60,81 \text{ мОм}, \quad (3.29)$$

$$Z = \sqrt{\sum X^2 + \sum R^2} = \sqrt{60,81^2 + 0,435^2} = 60,8 \text{ мОм}, \quad (3.30)$$

$$\frac{\sum X}{\sum R} = \frac{60,81}{0,435} = 139,7, \quad (3.31)$$

$$I_{y\phi} = \sqrt{2}KI_{кз} = 1,41 \cdot 1,35 \cdot 18,47 = 35 \text{ кА}, \quad (3.32)$$

### 3.4 Электроосвещение цеха

#### 3.4.1 Выбор системы освещения

Основные электроприёмники цеха – станочное оборудование, вентиляторы,. Работа станочного оборудования относится к работам высокой точности соответствующих разряду Шв. Для разряда зрительных работ Шв минимальная освещённость комбинированного освещения составляет 750лк. Освещённость при этом, обеспечиваемая общим освещением в системе комбинированного освещения, составляет 300 лк.

В цехе также предусматривается создание системы аварийного освещения. Наименьшее значение освещённости рабочей поверхности помещений производства и требующих обслуживания территорий при аварийном режиме составляет 5–10% от значения освещённости рабочего освещения, создаваемого работой общего освещения. Выполнение аварийного освещения осуществляется установкой ламп накаливания.

#### 3.4.2 Выбор типа и мощности источников света

Исходные данные:

- размер цеха в длину  $A = 165\text{м}$ ;
- размер цеха в ширину  $B = 60\text{м}$ ;
- размер цеха по высоте  $h_{ц} = 7\text{м}$ ;
- величина напряжения системы освещения 220 В;
- значения коэффициентов отражений  $\rho_{\text{пот}} = 0.5$ ;  $\rho_{\text{ст}} = 0.5$  ;  $\rho_{\text{пол}} = 0.1$ ;
- минимальная значение освещенности  $E_{\text{РАБ}} = 300\text{лк}$ ;  $E_{\text{АВ}} = 15\text{лк}$  .

Поскольку высота цеха составляет 7м наиболее целесообразно использование ламп типа ДРЛ со светильниками РСУ 21М-250-009 и кривой световой силы ДЗ.

Светильники располагаются в шахматном порядке, при этом с целью снижения характерных пульсаций светового потока для ламп такого типа, в каждой точке устанавливается один светильник.

Предварительно выбранное значение 130 светильников.

Значение высоты подвеса светильников:

$$H_{II} = h_{II} - h_C = 7 - 0,3 = 6,7 \text{ м}, \quad (3.33)$$

где:

$h_{II}$  – значение высоты цеха, м;

$h_C = 0,3 \text{ м}$  – величина расстояния от светильника до перекрытий (свес).

Расчетная высота:

$$h = H_{II} - h_p = 6,7 - 0,8 = 5,9 \text{ м}, \quad (3.34)$$

где:

$h_p$  – значение высоты рабочей поверхности над полом, м.

Отношение падающего на освещаемую поверхность потока к всему потоку ламп, называется коэффициентом использования  $\eta$  зависимость которого от площади, высоты и формы помещения учитывается индексом помещения  $i$ .

Значение индекса помещения определяется из зависимости:

$$i = \frac{S_{II}}{h \cdot (A + B)} = \frac{165 \cdot 60}{5,9 \cdot (165 + 30)} = 8,6, \quad (3.35)$$

где:

$S_{II}$  – значение цеховой площади, м<sup>2</sup>;

$A$  – значение длины цеха, м;

$B$  – значение ширины цеха, м.

При  $i = 8,6$  и  $\rho_{пот} = 0,5$ ,  $\rho_{ст} = 0,5$ ,  $\rho_{пол} = 0,1$  получаем значение  $K_{II} = 0,65$ .

Значение светового потока одной лампы определяется выражением:



$$\Phi = \frac{E \cdot S_{ц} \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 165 \cdot 60 \cdot 1,3 \cdot 1,15}{130 \cdot 0,65} = 52546 \text{ лм.}, \quad (3.36)$$

где:

$E$  – минимальная заданная освещенность;

$K_3$  – учитывающий уменьшение светового потока коэффициент запаса;

$Z$  – коэффициент, учитывающий неравномерность освещения;

$N$  – принятое число светильников;

$\eta$  – коэффициент учета использования.

Выберем лампы ДРЛ-1000, стандартный световой поток которых составляет:

$$\Phi_{л.ст} = 58000 \text{ лм.}, \quad (3.37)$$

Средняя фактическая освещённость определяется выражением:

$$E_{ср.ф} = \frac{N \cdot K_{II} \cdot \Phi_{л.ст}}{S_{ц} \cdot K_3 \cdot Z} = \frac{130 \cdot 0,65 \cdot 58000}{165 \cdot 60 \cdot 1,3 \cdot 1,15} = 331,137, \quad (3.38)$$

$$E_{ср.ф} = 331,137 \text{ лк} > E_{мин} = 300 \text{ лк}$$

Окончательное значения количества светильников в цехе:

$$N = \frac{E_{ср.ф} \cdot S_{ц} \cdot K_3 \cdot Z}{K_{II} \cdot \Phi_{л.ст}} = \frac{331,137 \cdot 165 \cdot 60 \cdot 1,3 \cdot 1,15}{0,65 \cdot 58000} = 130, \quad (3.39)$$

Окончательно принимаем 130 светильников

Величина общей установленной мощности рабочего освещения равна:

$$P_{общ} = n \cdot P_{л} = 130 \cdot 1000 = 130000 \text{ Вт}, \quad (3.40)$$

где:

$P_{л}$  – мощность одной осветительной лампы, Вт.

Итак, рассчитаем аварийное освещение.

Значение аварийного освещения составляет 5% от рабочего  $E_{ав} = 15 \text{ лк}$ ,

$$K_{II} = 0,65, \quad K_3 = 1,3;$$

$$\Phi = \frac{E \cdot S_{ц} \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{15 \cdot 165 \cdot 60 \cdot 1,3 \cdot 1,15}{20 \cdot 0,65} = 17077 \text{ лм.}, \quad (3.41)$$

Количество светильников принимаем 20. Выбираем лампу накаливания Г215–255–1000. Световой поток лампы составляет  $\Phi_{л} = 18800 \text{ лм.}$

$$E_{\text{ср.ф.ав}} = \frac{N \cdot K_{п} \cdot \Phi_{\text{л.ст}}}{S_{ц} \cdot K_3 \cdot Z} = \frac{20 \cdot 0,65 \cdot 18800}{165 \cdot 60 \cdot 1,3 \cdot 1,15} = 16,5, \quad (3.42)$$

$$E_{\text{ср.ф.ав}} = 16,5 \text{ лк} > E_{\text{мин.ав}} = 15 \text{ лк.}$$

### 3.4.3 Расчет освещенности цеха точечным методом

Точечный метод расчета освещенности применяется при расчете осветительной установки с локализованным способом размещения светильников. Этот расчетный метод позволяет определить значения освещенности плоскостей, находящихся под наклоном, а также произвести проверку правильности рассчитанных данных по равномерному общему освещению.

Главными инструментариями при точечном методе являются графические и табличные значения, позволяющие непосредственным путем или путем вычислений определять освещенность любой точки поверхности: светораспределение, световой поток ламп и геометрические характеристики, определяющие расположение светильника.

Проведем проверку освещенности в удаленных точках в соответствии с точечным методом и схемой, представленной на рисунке 3.1.

Произведем проверку нормированной освещенности в точке Е пола по точечному методу. Для поиска значения освещенности, расположенной на горизонтальной поверхности, точки пользуются следующим выражением:

$$E = \frac{\Phi_{л} \cdot \mu \cdot \sum E}{1000 \cdot K_3 \cdot L_{л} \cdot h}, \quad (3.43)$$

где:

Е – значение относительной линейной освещенности в точке, создаваемой отдельным светильником;

$\mu$  - учитывающий  $\mu_y$  и  $\mu_o$  коэффициент.

Для рассматриваемого нами случая:

$$\mu = \frac{0,37}{0,27} = 1,37,$$

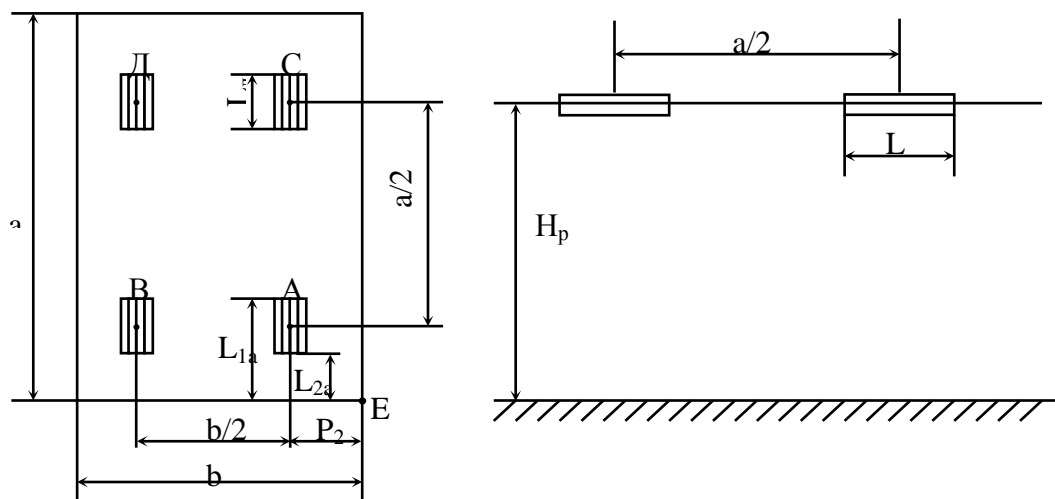


Рисунок 3.1 – Схемное изображение расположения ламп в помещении.

Определяем значения относительных расстояний для каждой из точек (А,Б,С,Д) и по этим определенным значениям расстояний находим относительную освещенность Е по изолюксам.

Для точки А имеем:

$$L_{1л} = \frac{a}{4} + \frac{L_{л}}{2} = \frac{12,5}{4} + \frac{1,5}{2} = 3,875м., \quad (3.44)$$

где:

$L_{л}$  – величина длины лампы;

$a = 12,5м.$ ;

$b = 11,25м.$

$$L_{2л} = \frac{a}{4} - \frac{L_{л}}{2} = \frac{12,5}{4} - \frac{1,5}{2} = 2,375м., \quad (3.45)$$

$$P_A = \frac{b}{4} = \frac{11,25}{4} = 2,81м., \quad (3.46)$$

$$P'_A = \frac{P_A}{H_p} = \frac{2,81}{5,9} = 0,48, \quad (3.47)$$

$$L'_{2,л} = \frac{L_{2,л}}{H_p} = \frac{2,375}{5,9} = 0,4, \quad (3.48)$$

$$L'_{1,л} = \frac{L_{1,л}}{H_p} = \frac{3,875}{5,9} = 0,657, \quad (3.49)$$

Затем определяется значение освещенности по изолюксам

Определенная по изолюксам освещенность наиболее удаленной точки Е составляет.

$$E_{A1} = 175 \text{лк}, \quad (3.50)$$

$$E_{A2} = 125 \text{лк}, \quad (3.51)$$

$$E_A = E_{A1} - E_{A2} = 175 - 125 = 50 \text{лк}. \quad (3.52)$$

Величина полученного значения освещенности лежит в диапазоне допустимых значений, следовательно, выбор светильников произведен верно.

#### 3.4.4 Выбор кабелей

Условием для выбора сечения кабелей является следующее соотношение:

$$I_p < I_{д.д}, \quad (3.53)$$

где:

$I_p$  – расчётный ток, А;

$I_{д.д}$  – допустимое значение длительной токовой нагрузки на кабель.

Так как цех термической обработки относится к помещениям со средой опасной по коррозии, то

$$I_{д.д} = 0,9I_{н.д}, \quad (3.54)$$

где:

$I_{н.д}$  – значение длительно допустимого тока для кабелей при нормальных условиях прокладки.

Расчётное значение нагрузки для внутреннего освещения здания  $P_p$  определяется значением установленной мощности освещения  $P_y$  и величиной значения коэффициента спроса  $k_c$ :

$$P_p = P_y \cdot k_c, \quad (3.55)$$

Значение установленной мощности  $P_y$  определяется как суммирование значений мощности ламп по всем стационарным светильникам:

$$P_y = n \cdot P_{\text{л}} = 130 \cdot 1000 = 130000 \text{ Вт}, \quad (3.56)$$

где:

$n$  – количественное значение числа установленных ламп, шт.

$P_{\text{л}}$  – значение номинальной мощности по одной лампе, Вт.

$$P_p = P_y \cdot k_c = 130000 \cdot 0,95 = 123500 \text{ Вт}, \quad (3.57)$$

где:

$k_c = 0,95$

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg} \varphi = 123500 \cdot 0,48 = 59200 \text{ Вар}, \quad (3.58)$$

где:

$\text{tg} \varphi = 0,48$  для ДРЛ ламп.

Определяем значение полной мощности рабочего освещения:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{123500^2 + 59200^2} = 137000 \text{ ВА}, \quad (3.59)$$

Определяем расчетный ток для выбора кабеля:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{137000}{\sqrt{3} \cdot 220} = 359,523 \text{ А}, \quad (3.60)$$

где:

$U_{\text{НОМ}} = 220 \text{ В}$  – значение номинального сетевого напряжения освещения.

Выбираем марку четырехжильного кабеля АВВГ. Представленные в ПУЭ значения допустимых длительных токов  $I_{\text{ДД}}$  приняты для нормальной окружающей среды (температура +25 °С по Цельсию).

Однако, поскольку цеховая среда опасна по коррозионной стойкости, принимается поправочный коэффициент на температуру воздуха равный 0,9 ( $K = 0,9$ ).

Принимается к установке кабель 4х240 мм<sup>2</sup> с  $I_{\text{ДД}} = 363 \text{ А}$ .

Произведем выбор параметров кабеля, осуществляющего питание щитка аварийного освещения.

Расчетная установленная мощность ламп:

$$P_y = 20 \cdot 1000 = 20000 \text{ Вт.},$$

Определяем значение расчётной нагрузки:

$$P_p = P_y \cdot k_c = 20000 \cdot 0,95 = 19000 \text{ Вт.},$$

где:

$k_c = 0,95$  - коэффициент одновременности работы ламп освещения цеха.

Расчётное значение тока для выбора кабеля определяем из выражения:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi} = \frac{19000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 1} = 49,862 \text{ А}, \quad (3.61)$$

где:

$\cos \varphi = 1$  - для ЛН.

На основе рассчитанных данных принимаем четырёхжильный кабель АВВГ (4x10).

$$I_{д.д} = 50 \text{ А} > I_p = 49,862 \text{ А}$$

Результаты расчетных данных представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Выбор типов кабелей для освещений

Освещение	$P_p$ , Вт	$Q_p$ , <u>ВАр</u>	$S_p$ , ВА	$I_p$ , А	Марка кабеля	$I_{д.д}$ кабеля, А
основное	123500	59280	137000	359,523	АВВГ 4x300	363
аварийное	19000	—	38000	49,862	АВВГ 4x10	50
всего	142500	59280	175000	—	—	—

### 3.4.5 Выбор схемы питания осветительной установки

Питание электрического освещения осуществляется от общих для осветительных и силовых нагрузок трансформаторов низкого напряжения 0,4/0,23 кВ (сетевое напряжение 380/220 В).

Для осуществления питания ламп освещения применим осветительные шинопроводы ШОС.

С целью распределения электрической энергии аварийного и рабочего освещения, а также обеспечения защитных свойств сети от токов короткого замыкания к установке применяется шкаф распределительный ПР11 с установленными автоматическими трехполюсными выключателями по типу ВА.

Конструкцией осветительной сети цеха предусматривается присутствие одного группового щитка, который по присоединенным групповым линиям запитывает светильники. В аварийном случае отключения действующего рабочего освещения предусматривается аварийное освещение.

Включение светильников аварийного освещения происходит автоматически при срабатывании аварийного отключения рабочего освещения.

Управление рабочим освещением цех осуществляется установленными на групповом щитке автоматическими выключателями. Для удобной эксплуатации и обеспечения безопасности производства ремонтных работ по заменам отдельных элементов схемы, осуществляющей электроосвещение, предусматривается возможность отключения питания на групповом щитке установленным на входе в здание выключателем.

## 4 Релейная защита ГПП

### 4.1 Дифференциальная токовая защита

Применение дифференциальной токовой защиты является основной методикой защиты трансформатора с обмоткой ВН 3 кВ и выше от токов короткого замыкания на выводах или от внутренних повреждений. В соответствии с правилами устройства электроустановок потребителей дифференциальная защитная аппаратура без выдержки времени предусматривается для трансформаторов с мощностью 6,3 МВА и выше. С целью обеспечения защитных режимов силовых трансформаторов с реализацией регулирования напряжения под нагрузкой, применяют реле ДЗТ-10 с ИИТ и осуществление магнитного торможения с помощью сквозного тока дифференциальной защиты. У трансформаторов большей мощности выполняют сложные полупроводниковые реле ДЗТ-20, позволяющие осуществить дифференциальную защиту срабатывания на ток, значение которого много меньше номинального трансформаторного тока. В распределительных сетях реле этой серии не применяются, и в дальнейшем под реле ДЗТ подразумевается ДЗТ-21. Способ дифференциальной защиты имеет следующий перечень особенностей:

1. Необходима настройка от бросков тока, возникающих при отключениях трансформаторов без нагрузки, но находящихся под напряжением, или восстановления питающего напряжения после отключения из-за возникшего внешнего КЗ питающей сети;
2. Необходима настройка защиты от обусловленных неполным выравнением действий неодинаковых вторичных токов плеч дифференциальной защиты, токов небаланса.

Значения номинальных первичных токов, трансформатора, для которого осуществляется защита со стороны ВН и НН определяются выражениями:

$$I_{НОМвн} = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_{НОМ}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 83.97 \text{ А}, \quad (4.1)$$



$$I_{НОМнн} = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_{НОМ}} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1540A. \quad (4.2)$$

Для выбора трансформатора тока со стороны ВН находим значение тока:

$$I_{НОМвн} \cdot \sqrt{3} = 83,97 \cdot \sqrt{3} = 145,44A., \quad (4.3)$$

Из стандартного ряда выбираем большее ближайшее значение трансформатора тока: 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500; 2000.

На ВН стороне трансформатора тока принимаем  $K_i = 200/5$  (ТФЗМ-110-200/5).

На НН стороне, зная  $I_{НОМнн}$  принимается большая ближайшая стандартная величина. Принимаем трансформатор тока с коэффициентом  $K_i = 2000/5$ .

Значения вторичных номинальных токов определяются выражениями:

$$I_{2НОМВН} = \frac{I_{НОМвн} \cdot \sqrt{3}}{k_i} = \frac{83,97 \cdot \sqrt{3}}{200/5} = 3,636A., \quad (4.4)$$

$$I_{2НОМНН} = \frac{I_{НОМнн} \cdot I}{k_i} = \frac{1540 \cdot 1}{2000/5} = 3,85A., \quad (4.5)$$

Множитель  $\sqrt{3}$  учитывает тот факт, что схема соединения трансформаторов тока со стороны ВН  $\Delta$ .

При определении места установки тормозной обмотки учитываются рекомендации, по которым у трансформаторов понижения с двумя обмотками тормозная обмотка всегда устанавливается со стороны НН.

При выполнении дифференциальной защиты применением релейки ДЗТ-21 ток сработки защиты определяется только условием отстройки защиты от бросков тока намагничивания.

$$I_{СЗ} = k_H I_{НОМВН} = 1,4 \cdot 83,97 = 117,558A., \quad (4.6)$$

В случаях выполнения защит на основе ДЗТ-21 или РНТ-565 принимается  $k_H = 1,3 - 1,5$ .

Расчетное значения числа витков у рабочей обмотки ДЗТ-21 для уравновешения МДС выбирается по условию  $I_{C3}$ . Поскольку тормозная обмотка располагается на стороне НН, эта сторона принимается как основная, а сторона НН как неосновная. Определим (расчетное) количество числа витков рабочей обмотки по не основной стороне:

$$W_{HEOCH_{PAC}} = \frac{F_{C.P}}{I_{C.P}} = \frac{200}{3,636} = 55, \quad (4.7)$$

$$I_{CP_{HEOCH}} = \frac{I_{C3}}{k_i} k_{CX}^{(3)} = \frac{83,97 \cdot \sqrt{3}}{200/5} = 3,636 \text{ A}. \quad (4.8)$$

где:

$k_{CX}^{(3)} = \sqrt{3}$ , потому как со стороны ВН трансформаторы тока включены треугольником. Ток сработки по защите основной стороны определяется как ток сработки защиты неосновной стороны силового трансформатора (защищаемый).

$$I_{CP_{OCH}} = I_{CP_{HEOCH}} \cdot N_m = 3,636 \cdot \frac{96,6}{10,5} = 33,45 \text{ A}, \quad (4.9)$$

Расчетное число витков рабочей обмотки основной стороны (ВН) определяем из уравнения:

$$W_{OCH_{PAC}} = W_{HEOCH_{PAC}} \frac{I_{2ном_{HEOCH}}}{I_{2ном_{OCH}}} = 55 \frac{3,636}{3,85} = 51,9 \approx 52 \text{ витка}, \quad (4.10)$$

Принимаем число витков с основной стороны:  $W_{OCH} = 52 \text{ витка}$ .

В соответствии с условием отстройки защиты от небалансных токов при возникновении внешнего КЗ, находится значение числа витков тормозной обмотки:

$$W_m = \frac{k_H I_{НБ} W_{CP_{OCH}}}{I_{K_{max_{ВН}}} \cdot tg \alpha} = \frac{1,5 \cdot 1160,46 \cdot \frac{96,6}{10,5} \cdot 12,6}{16800 \cdot 0,87} = 13,8, \quad (4.11)$$

где:

$$k_H = 1,5; \quad tg \alpha = 0,87.$$

Полученное расчетным путем значение округляем в большую сторону в соответствии со следующим спектром количества витков: 1; 3; 5; 7; 9; 11; 13; 18; 24.

Принимаем число витков тормозной обмотки:  $W_m = 18$  витков.

Первичный ток небаланса при внешнем КЗ без учета 3-ей составляющей и  $I''_{нб}$  (тока небаланса) определяем в соответствии со следующим выражением:

$$I_{нб} = I^I_{нб} + I^{II}_{нб} + I^{III}_{нб}, \quad (4.12)$$

первая составляющая учитывает влияние погрешности трансформаторов тока;

вторая составляющая учитывает влияние РПН на ток небаланса;

третья составляющая учитывает неточность выравнивания вторичных токов в рабочих обмотках реле ДЗТ-21.

$$I_{нб} = k_a k_{одн} E + \Delta N \tilde{I}_{КЗВНЕШmax}, \quad (4.13)$$

где:

$k_a$  – учитывающий влияние апериодической составляющей тока КЗ на погрешность трансформаторов тока коэффициент. Для реле ДЗТ-21 и РНТ-565:

$$k_a = 1$$

$k_{одн}$  – учитывающий однотипность трансформаторов тока в плечах защиты и равномерность их загруженности коэффициент. Когда трансформаторы тока однотипные и одинаково загруженные  $k_{одн} = 0,5$ , в противном случае принимается  $k_{одн} = 1$ . Для нашего случая принимаем  $k_{одн} = 1$ .

$E$  – коэффициент, учитывающий полную допустимую погрешность трансформаторов тока. Для трансформаторов тока в цепях защиты допустимая погрешность равна 10%;

$\Delta N$  – половина регулирующего диапазона РПН:  $\pm 16\%$ .

Ток небаланса определяется следующими выражениями:

$$I^I_{нб} = 1 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,16 \cdot 3991 = 1037,66 A \quad (4.14)$$

$$I_{НБ}^{II} = \frac{W_{оснрасч} - W_{осн}}{W_{оснрасч}} I_{КmaxНН}^{(3)} = \frac{(13 - 12,6)}{13} 3991 = 122,8 \text{ А} \quad (4.15)$$

$$I_{НБ} = 1037,66 + 122,8 = 1160,46 \text{ А}. \quad (4.16)$$

Коэффициент чувствительности дифференциальной защиты определяется выражением:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{Pmin}}{I_{CP}} \geq 2, \quad (4.17)$$

где:

$$I_{Pmin} = \frac{I_{K-2min}^{(2)}}{k_i} k_{CX}^{(3)} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K-2min}^{(2)} \cdot \sqrt{3}}{k_i} = \frac{1,5 \cdot I_{K-2min}^{(2)}}{k_i} = 1,5 \cdot \frac{3027,51}{100/5} = 45,41 \text{ А};$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{45,41}{18} = 2,52 \geq 2.$$

На основании расчетных данных делаем вывод, что дифференциальная защита по условию чувствительности удовлетворяет нормативным требованиям.

## 4.2 Максимальная токовая защита

Резервной защитой при многофазных коротких замыканиях в обмотках трансформатора и его выводах, с обеспечением защиты от сверхтоков, вызванных короткими замыканиями, является максимальная токовая защита с независимой от тока выдержкой времени. Защита выполняется на реле РСТ-13-24 с коэффициентом возврата  $k_{\text{в}} = 0,9$ .

Максимальный рабочий ток определяется из выражения:

$$I_{\text{тахраб}}^{\text{ВН}} = 112,46 \text{ А} \quad (4.18)$$

Коэффициент трансформации равен:

$$k_I^{\text{ВН}} = \frac{200}{5} = 40 \quad (4.19)$$

Ток срабатывания защиты от максимального рабочего тока по условию отстройки при возможной перегрузке трансформаторов:

$$I_{C3} = \frac{k_{отс} \cdot I_{maxРАБ}^{BH}}{k_B} I_{C3} = \frac{k_{отс} \cdot I_{maxРАБ}^{BH}}{k_g} = \frac{1,2 \cdot 112,46}{0,9} = 149,95 A., \quad (4.20)$$

где:

$k_{отс} = 1,2$  – отстрочный коэффициент;

$k_B = 0,9$  - возвратный коэффициент.

Коэффициент чувствительности в основной зоне определяется выражением:

$$k_{ч} = \frac{I_{K3min}^{(2)}}{I_{C3}} = \frac{894}{149,95} = 5,96 > 1,5, \quad (4.21)$$

Коэффициент чувствительности в зоне резервирования определяется выражением:

$$k_{ч} = \frac{I_{K3min}^{(2)}}{I_{C3}} = \frac{657,1}{149,95} = 4,38 > 1,2, \quad (4.22)$$

Ток срабатывания реле равен:

$$I_{cp} = \frac{\sqrt{3}}{40} \cdot 149,95 = 6,49 A., \quad (4.23)$$

Используем защиту на основе токового реле РСТ-13-24 с уставками  $5-20A$ . Для защиты используем трансформаторы тока ТФМЗ110-У1-200-0,5/10р/10р, с соединением обмоток по схеме полного треугольника. Тогда коэффициент схемы  $k_{cx} = \sqrt{3}$ .

Определяем сумму уставок по следующему выражению:

$$\sum \Theta = \frac{I_{cp}}{I_{min}} - 1 = \frac{6,49}{5} - 1 = 0,298, \quad (4.24)$$

Принимаем сумму уставок:

$$\sum \Theta = 0,1 + 0,2 = 0,3, \quad (4.25)$$

Ток уставки реле равен:

$$I_{уст} = \left( 1 + \sum \Theta \right) \cdot I_{min} = (1 + 0,3) \cdot 5 = 6,5 A., \quad (4.26)$$

Время срабатывания защиты принимается по условиям отстройки МТЗ на секционном выключателе:

$$t_{cз( CB )} = t_{cз( ГПП-III )} + \Delta t = 1с., \quad (4.27)$$

$$t_{cз( QI )} = t_{cз( CB )} + \Delta t = 1,5с., \quad (4.28)$$

Выбираем реле времени типа РВ-01 с уставками времени  $0,25 - 3,5с.$

### 4.3 Максимальная токовая защита от перегруза

В качестве защиты от перегруза применим максимальную токовую защиту с одним, включенным на трансформатор тока фазы А со стороны низшего напряжения силового трансформатора, реле тока РСТ-13-19.

Ток срабатывания защиты равен:

$$I_{cз} = \frac{k_{отс}}{k_e} I_{maxPAБ}^{BH} = \frac{1,05}{0,9} \cdot 112,46 = 131,2A., \quad (4.29)$$

Ток срабатывания реле равен:

$$I_{c.p.} = \frac{I_{c.з}}{n_1} = \frac{131,2}{40} = 3,28A., \quad (4.30)$$

Принимаем к установке реле РСТ-13-19, у которого ток срабатывания находится в пределах  $I_{cp} = 1,5 \div 6 A.$

Сумму уставок определяем в соответствии с выражением:

$$\sum \Theta = \frac{I_{cp}}{I_{min}} - 1 = \frac{3,28}{1,5} - 1 = 1,19, \quad (4.31)$$

Сумма уставок принимается равная:

$$\sum \Theta = 0,4 + 0,8 = 1,2, \quad (4.32)$$

Ток уставки реле равен:

$$I_{уст} = \left( 1 + \sum \Theta \right) \cdot I_{min} = (1 + 1,2) \cdot 1,5 = 3,3A. \quad (4.33)$$

Защита действует на сигнал с выдержкой времени  $t_{cз} = 2с.$ , устанавливаем реле времени типа РВ-01 ( $t_{BB} = 1 - 100с.$ ).

## Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы спроектирована система электроснабжения предприятия ООО «Технологии Вендинга».

При выполнении работы для достижения цели были рассмотрены следующие вопросы: дана характеристика приёмников электрической энергии, рассчитаны электрические нагрузки предприятия, устройства компенсации реактивной мощности за счет применения конденсаторных установок, произведен расчет и построена картограмма электрических нагрузок на основании которой определено месторасположение главной понижающей подстанции.

В соответствии с выполненными расчетами выбраны мощности силовых трансформаторов и внутризаводских подстанций, выбраны сечения линий питающего напряжения, рассчитаны токи короткого замыкания для характерных точек.

Выполнен выбор количества и мощности трансформаторов потребителей и трансформаторов главной питающей подстанции (ГПП).

Выбрано электрооборудование с учетом расчетных величин токов короткого замыкания.

Отдельно рассмотрен вопрос расчета электроснабжения механического цеха. Определены расчетные мощности электроприемников цеха, произведен выбор сечений кабелей. Рассчитано освещение механического цеха по результатам которого определено количество и выбран тип светильников основного и аварийного освещения.

На ГПП установлены два трансформатора марки ТДН 16000.

Повышение коэффициента мощности обеспечивается батареями марок УКК-0,4 и УKM-0,4, установленными на шинах 0,4 кВ. Питание цехов, имеющих малую мощность осуществляется от РП питающейся от шин ТП 0,4 кВ. Сама схема имеет смешанный характер и имеет вид радиально-магистральной схемы.

## Список использованных источников

1. Электротехнический справочник [текст]: В 4 т. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под. общ. ред. Профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 9-е изд., стер.. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 964 с.
2. Электротехнический справочник [текст]: В 4 т. Т.1. Общие вопросы. Электротехнические материалы / Под. общ. ред. Профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 9-е изд., стер.. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 440 с.
3. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий / Э.А. Киреева – М.: КноРус, 2013
4. Щербаков, Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. Учебное пособие / Е.Ф. Щербаков – Москва: Форум, 2014
5. Электротехнический справочник [текст]: В 4 т. Т.2. Электротехнические изделия и устройства / Под. общ. ред. Профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 9-е изд., стер.. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 513 с.
6. Электротехнический справочник [текст]: В 4 т. Т.4. Использование электрической энергии / Под. общ. ред. Профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 9-е изд., стер.. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 696 с.
7. Белоруссов Н.И., Саакян А.Е., Яковлева А.И. Электрические кабели, провода и шнуры [текст]. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 344 с.
8. Гринберг Г.С., Смирнов В.Н. Комплектные устройства электротехнических установок [текст]. – М.: Госэнергоиздат, 1990.- 230 с.



9. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий [текст]. / Под. ред. А.А. Федорова, Г.В. Сербиновского. – М.: Энергия, 1992.- 528 с.
10. Электрическая часть электростанций и подстанций [текст]. Справочные материалы/ Под. ред. Б.Н. Наклепаева. – М.: Энергия, 1992.- 356 с.
11. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов [текст]. – М.: Изд-во «Мастерство»; Высшая школа, 2001. – 466 с.
12. Неклепаев Б.Н., Крюков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций [текст]. – М.: Высшая школа, 1989. – 358 с.
13. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов [текст]. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 124 с.
14. Справочник по электроустановкам промышленных предприятий [текст]. /Под ред. Я.М. Большака, В.И. Круповича. – М.: Энергия, 2004.- 559 с.
15. Федоров А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий [текст]. – М.: Госэнергоиздат, 2002.- 415 с.
16. BROWN, M. Power supply cookbook. Boston [текст]: Newnes, 2001. ISBN 07-506-7329-X.
17. P. Fergestad, T. Henriksen: Transient Oscillations in Multiwinding Transformers [текст], IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. 93, No. 2, March 1994, pp. 500 – 509.
18. Santoso, S.; Beaty, H.W.; Dugan, R.C.; McGranaghan, M.F. Electrical Power Systems Quality [текст]. McGraw-Hill: New York, NY, USA, 1996.
19. James, R.E. “Condition Assessment of High Voltage Insulation in Power System Equipment” [текст] / R.E. James, Q. Su // IET Power and Energy, Series: Iet Power and Energy, January 2007. – 288 p.

20. Arora, R. “High Voltage and Electrical Insulation Engineering” [текст] / R. Arora, W. Mosch // IEEE Press Series on Power Engineering, Wiley-IEEE Press, 1 edition, August 2011. – 394 p.