

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)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение завода резинотехнических изделий»

Студент

И.Ю. Рябов

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

Руководитель

В.П. Тараканов

(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

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

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Тольятти 2017

## **Аннотация**

Темой бакалаврской работы является электроснабжение завода резинотехнических изделий.

При выполнении проектирования были решены следующие задачи:

- выполнены расчеты ожидаемых электрических нагрузок;
- произведены расчеты системы электрического освещения;
- выполнен расчет низковольтных электрических сетей промышленного предприятия;
- произведен расчет электрических сетей промышленного предприятия;
- определены значения токов КЗ.

Бакалаврская работа состоит из 52 страниц. Содержит 20 таблиц и 5 поясняющих рисунков. Графическая часть работы включает в себя 6 чертежей А1.

## Содержание

Введение	4
1 Краткая характеристика предприятия	6
2 Расчет электрических нагрузок	7
3 Выбор схемы внутрицеховой электрической сети	15
4 Расчет электрического освещения цеха	22
5 Выбор цеховых КТП	28
6 Выбор схемы внутреннего электроснабжения предприятия	33
7 Расчёт токов КЗ	36
8 Выбор электрических аппаратов	44
Заключение	50
Список использованных источников	51

## Введение

Система электроснабжения промышленного предприятия (СЭС ПП) должна выбираться на основе технико-экономического сравнения различных вариантов по критерию минимума дисконтируемых затрат или другим экономическим критериям.

При построении системы электроснабжения следует учитывать требуемую надежность электроснабжения электроприемников, требуемое качество электрической энергии в соответствии с ГОСТ 32144-2013.

Трансформаторные подстанции рекомендуется приближать к потребителям электрической энергии, сокращать число ступеней трансформации напряжения за счет внедрения подстанций глубоких вводов, повышать номинальные напряжения питающих и распределительных сетей, развивать принцип «разукрупнения» подстанций, внедрять магистральные токопроводы.

Требования, которым должна соответствовать проектируемая система электроснабжения:

- экономичность во время эксплуатации;
- обеспечение заданной надежности электроснабжения потребителей;
- обеспечение безопасности персонала и удобство последующей эксплуатации;
- качество электрической энергии, соответствующее требованиям ГОСТ;
- гибкость системы, позволяющая дальнейшее развитие системы электроснабжения без кардинального переустройства;
- снижение потерь электроэнергии за счет максимального приближения источников питания к электроустановкам потребителей и др.

Эти перечисленные особенности приводят к необходимости выполнения специальных требований к системе электроснабжения предприятия:

1) скорость протекания переходных процессов приводит к необходимости использования в системе электроснабжения предприятия специальных

автоматических устройств, целью применения которых является передача необходимого количества и приемлемого качества электроэнергии от источника питания к потребителям;

2) особенности технологического процесса на различных промышленных предприятиях приводят к разным применяемым проектным решениям в системе электроснабжения предприятия;

3) современный технологический процесс на промышленном предприятии обладает высокой динамичностью, обусловленной постоянным усовершенствованием старых и применением новых методов производства, внедрением нового оборудования, переналадкой технологического процесса, связанной с постоянным изменением и улучшением производимой продукции.

Целью работы является разработка системы электроснабжения завода резинотехнических изделий для обеспечения надежного электроснабжения потребителей и соблюдения требований к качеству электрической энергии.

## **1 Краткая характеристика предприятия**

Предприятие входит в холдинг Кордиант - известный производитель шин для грузовых автомобилей, автобусов и троллейбусов, а также для специальной техники. На протяжении более 70 лет завод выпускает шины для использования в различных отраслях и поддерживает стабильное качество продукции.

Ассортиментная линейка грузовых комбинированных шин состоит из 35 моделей в наиболее массовых типоразмерах. Высокий уровень технических характеристик продукции позволяет эксплуатировать шины в сложных дорожных и климатических условиях.

Вся продукция проходит проверку в независимых испытательных центрах. Стабильное качество подтверждено сертификатами таможенного союза и сертификатом ЕЭК ООН №117-02.

Продуктовый портфель представлен в наиболее массовых типоразмерах шин. В ассортименте присутствуют шины посадочных диаметров от 18 до 21 дюйма, с различными рисунками протекторов – универсальными, дорожными и повышенной проходимости.

При производстве продукции используются новейшие разработки собственного исследовательского центра, а также опыт разработки и производства шин, накопленный за многолетнюю историю завода.

Проектируемое предприятие относится к средним (суммарная установленная мощность ЭП составляет от 5 до 75 МВт).

Согласно ПУЭ участок раскроя металлокорда относится ко второй категории по надежности электроснабжения потребителей. Производственное электрооборудование работает в продолжительном режиме работы и получает питание от сети переменного тока напряжением 380 В. Электрическое освещение рассчитано на напряжение 220 В.

## 2 Расчет электрических нагрузок

Верное определение величин электрических нагрузок является одним из основополагающих факторов на стадии проектирования и при дальнейшей эксплуатации электрических сетей предприятия [2-5].

Нахождение расчетной нагрузки по средней потребляемой мощности за наиболее загруженную смену и коэффициенту максимума (расчетному коэффициенту) является наиболее точным.

Для каждого электроприёмника по справочным таблицам определяем  $K_u$ ,  $\cos\varphi$ , результаты заносим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные и справочные данные для ЭП

№	Электроприемник	n, шт	$P_n$ , кВт	$K_u$	$tg\varphi$
13,14	Подогревательные вальцы ПД 630 315 / 315	2	166	0.65	0.75
3,4,17,18, 19,20	Вальцы индивидуальные Лб 200 100 / 100 Л	6	136.4	0.65	0.75
15,16	Линия ЛОМК-800К обрезинивания металлокорда	2	215.5	0.55	0.75
5,6,7,8	Установка раскроя	4	29.7	0.7	0.75
1,2	Линия раскроя Konshtрукта	2	50.2	0.65	0.75
9,10,11,12	Линия по обработке металлокорда	4	30.2	0.7	0.75

Найдем активную расчетную нагрузку группы ЭП

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n K_{ui} \cdot P_{ном i}; \quad 2.1$$

Найдем эффективное число электроприёмников

$$n_3 = \frac{\left( \sum_{i=1}^n P_{номi} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{номi}^2}; \quad 2.2$$

или при большом числе ЭП

$$n_3 = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{номi}}{P_{н.наиб}}; \quad 2.3$$

Значение  $n_3$  округляется до целого числа.

Найдем групповой средневзвешенный коэффициент использования

$$K_u = \frac{\sum_{i=1}^n K_{ui} \cdot P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}}; \quad (2.4)$$

Найдем расчётную реактивную нагрузку при эффективном числе электроприемников больше 10

$$Q_p = \sum_{i=1}^n K_{ui} \cdot P_{номi} \cdot \operatorname{tg} \phi_i; \quad 2.5$$

Найдем полную расчетную мощность нагрузки

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad 2.6$$

Найдем расчётный ток

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad 2.7$$

Групповой коэффициент использования:

$$K_{II} = \frac{2 \cdot 0.65 \cdot 166 + 6 \cdot 0.65 \cdot 136.4 + 2 \cdot 0.55 \cdot 215.5 + 4 \cdot 0.7 \cdot 29.7 + 2 \cdot 0.65 \cdot 50.2 + 4 \cdot 0.7 \cdot 30.2}{2 \cdot 166 + 6 \cdot 136.4 + 2 \cdot 215.5 + 4 \cdot 29.7 + 2 \cdot 50.2 + 4 \cdot 30.2} = 0,63.$$

Эффективное число электроприёмников



$$n_{\Sigma} = \frac{2 \cdot (2 \cdot 160 + 2 \cdot 6 + 6 \cdot 132 + 6 \cdot 4.4 + 2 \cdot 160 + 2 \cdot 55.5 + 4 \cdot 29.7 + 2 \cdot 50.2 + 4 \cdot 30.2)}{160} = 24,02$$

По справочнику находим  $k_p = 0.9$ .

Активная расчетная нагрузка

$$P_{pA1} = 0.9 \cdot \left( \begin{array}{l} 2 \cdot 160 \cdot 0.65 + 2 \cdot 6 \cdot 0.65 + 6 \cdot 132 \cdot 0.65 + \\ 6 \cdot 4.4 \cdot 0.65 + 2 \cdot 160 \cdot 0.55 + 2 \cdot 55.5 \cdot 0.55 + \\ 4 \cdot 29.7 \cdot 0.7 + 2 \cdot 50.2 \cdot 0.65 + 4 \cdot 30.2 \cdot 0.7 \end{array} \right) =$$

$$= 1096,01 \text{ кВт};$$

Расчётная реактивная нагрузка

$$Q_{pA1} = 0.9 \cdot \left( \begin{array}{l} 2 \cdot 160 \cdot 0.65 \cdot 0.75 + 2 \cdot 6 \cdot 0.65 \cdot 0.75 + 6 \cdot 132 \cdot 0.65 \cdot 0.75 + \\ 6 \cdot 4.4 \cdot 0.65 \cdot 0.75 + 2 \cdot 160 \cdot 0.55 \cdot 0.75 + 2 \cdot 55.5 \cdot 0.55 \cdot 0.75 + \\ 4 \cdot 29.7 \cdot 0.7 \cdot 0.75 + 2 \cdot 50.2 \cdot 0.65 \cdot 0.75 + 4 \cdot 30.2 \cdot 0.7 \cdot 0.75 \end{array} \right) =$$

$$= 822.01 \text{ квар};$$

Полная расчётная нагрузка

$$S_{pA1} = \sqrt{1096.01^2 + 822.01^2} = 1370,01 \text{ кВА};$$

Расчётный ток

$$I_{pA1} = \frac{1370.01}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2081,52 \text{ А}.$$

Для остальных электроприёмников расчеты выполняем аналогично, результаты заносим таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты расчетов нагрузок для цеховых узлов питания

№ группы	$K_{ii}$	$n_{\Sigma}$	$K_p$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А
1	0.63	20	0.9	1096.01	822.01	1370.01	2081.52
2	0.65	35	1	318.99	239.24	398.74	605.82

Найдем расчетную реактивную мощность

$$Q_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n K_{ii} \cdot P_{ном i} \cdot \operatorname{tg} \phi_i; \quad 2.8$$

Найдем расчётную активную нагрузку системы освещения цеха

$$P_{осв} = K_c \cdot F \cdot P_{уд} \cdot 10^{-3}; \quad 2.9$$

Удельную мощность определяем по формуле

$$P_{уд} = (p_{ум} \cdot K_z \cdot E_n) / (K_{зм} \cdot \eta \cdot 100); \quad 2.10$$

Найдем расчётную реактивную нагрузку системы освещения цеха

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \operatorname{tg} \phi_0; \quad 2.11$$

Найдем суммарную расчётную активную и реактивную нагрузку

$$P_{рн} = P_c + P_{осв}; \quad 2.12$$

$$Q_{рн} = Q_c + Q_{осв}; \quad 2.13$$

Найдем полную расчётную нагрузку

$$S_p = \sqrt{P_{рн}^2 + Q_{рн}^2}; \quad 2.14$$

В таблице 2.3 сведены данные для расчёта электрического освещения.

В таблицах далее по тексту будем использовать следующие обозначения цехов: Ц1 – подготовительный; Ц2 – автокамерный; Ц3 – каландровый; Ц4 – вулканизации; Ц5 – сборочный; Ц6 – склад; Ц7 – ПВС; Ц8 – компрессорная.

Таблица 2.3 - Данные для расчёта электрического освещения

Цех	A, м	B, м	F, м <sup>2</sup>	P <sub>ум</sub> , Вт / м <sup>2</sup>	E <sub>норм</sub> , лк	E <sub>факт</sub> , лк
Ц1	250	150	37500	3.4	100	300
Ц2	120	100	12000	3.4	100	250
Ц3	200	110	22000	3.4	100	300
Ц4	250	120	30000	3.4	100	300
Ц5	356	104	37024	3.4	100	300
Ц6	200	80	16000	3.4	100	200
Ц7	120	80	9600	3.4	100	150
Ц8	150	80	12000	3.4	100	150

В таблице 2.4 сведены данные для расчёта нагрузки от групп силовых электроприемников.

В таблицах далее по тексту будем использовать следующие обозначения групп электроприемников: ЭП1 – воздуходувки; ЭП2 – вальцы; ЭП3 – экструдеры; ЭП4 – шприцмашины; ЭП5 – подъемно-транспортные средства; ЭП6 – аспирация; ЭП7 – прочее вспомогательное оборудование; ЭП8 – стрейнеры; ЭП9 – вентиляторы; ЭП10 - многопозиционные вулканизаторы; ЭП11 – линия проверки качества; ЭП12 – форматоры-вулканизаторы; ЭП13 – компрессоры; ЭП14 – коландры; ЭП15 – резательные машины; ЭП16 – сборочные станки; ЭП17 – циркуляционные насосы; ЭП18 – насосы НД; ЭП19 – насосы ВД

Таблица 2.4 - Исходные данные для расчёта силовых нагрузок по цехам

№ Цеха	№ ЭП	$P_{уст}, кВт$	$P_{н.мах}, кВт$	$P_{н\Sigma}, кВт$	$K_u$	$cos\varphi$
Ц1	ЭП1	3040	200	600	0.55	0.65
	ЭП2			740	0.65	0.65
	ЭП3			570	0.65	0.70
	ЭП4			450	0.60	0.75
	ЭП5			250	0.25	0.45
	ЭП6			300	0.70	0.80
	ЭП7			150	0.30	0.50
Ц2	ЭП2	327	132	132	0.65	0.65
	ЭП4			70	0.45	0.75
	ЭП8			20	0.30	0.70
	ЭП5			30	0.25	0.45
	ЭП9			50	0.60	0.65
	ЭП7			10	0.30	0.50
Ц4	ЭП10	2720	125	200	0.30	0.65
	ЭП11			50	0.40	0.60
	ЭП12			2000	0.36	0.63
	ЭП5			120	0.25	0.45
	ЭП9			100	0.65	0.65
	ЭП13			100	0.70	0.80

Продолжение таблицы 2.4

№ Цеха	№ ЭП	$P_{уст}, кВт$	$P_{н.мах}, кВт$	$P_{н\Sigma}, кВт$	$K_u$	$cos\varphi$
Ц5	ЭП14	4870	280	800	0.45	0.65
	ЭП3			500	0.65	0.50
	ЭП4			840	0.55	0.75
	ЭП15			320	0.60	0.65
	ЭП16			1600	0.65	0.70
	ЭП5			200	0.25	0.45
	ЭП9			110	0.60	0.60
	ЭП7			50	0.30	0.50
Ц6	ЭП5	220	30	120	0.25	0.45
	ЭП9			100	0.40	0.60
Ц7	ЭП13	1640	160	320	0.60	0.60
	ЭП17			250	0.43	0.70
	ЭП18			450	0.87	0.80
	ЭП19			620	0.55	0.80
Ц8	ЭП9	830	75	250	0.69	0.75
	ЭП13			580	0.65	0.65

Для примера рассчитаем нагрузки для сборочного цеха (Ц5) завода.

Найдем средневзвешенный коэффициент использования

$$K_u = \frac{\left( 0.45 \cdot 800 + 0.65 \cdot 500 + 0.55 \cdot 840 + 0.6 \cdot 320 + \right.}{800 + 500 + 840 + 320 + 1600 + 200 + 110 + 50} = 0,57.$$

Найдем эффективное число электроприёмников

$$n_э = \frac{2(800 + 500 + 840 + 320 + 1600 + 200 + 110 + 50)}{280} = 31$$

Коэффициент расчётной нагрузки по справочным данным  $K_p = 0.84$ .

Найдем активную расчетную нагрузку

$$P_p = 0.84 \cdot \left( \frac{0.45 \cdot 800 + 0.65 \cdot 500 + 0.55 \cdot 840 + 0.6 \cdot 320 +}{0.65 \cdot 1600 + 0.25 \cdot 200 + 0.6 \cdot 110 + 0.3 \cdot 50} \right) = 2108,4 \text{ кВт.}$$

Найдем расчётную реактивную нагрузку

$$Q_p = 0.84 \cdot \left( \begin{aligned} &0.45 \cdot 800 \cdot 1.17 + 0.65 \cdot 500 \cdot 1.73 + 0.55 \cdot 840 \cdot 0.88 + \\ &+ 0.6 \cdot 320 \cdot 1.17 + 0.65 \cdot 1600 \cdot 1.02 + 0.25 \cdot 200 \cdot 1.98 + \\ &+ 0.6 \cdot 110 \cdot 1.33 + 0.3 \cdot 50 \cdot 1.73 \end{aligned} \right) = 2427 \text{ кВт.}$$

Найдем активную нагрузку системы освещения цеха

$$P_{осв} = 37024 \cdot \frac{3.4 \cdot 1.4 \cdot 300}{1.5 \cdot 0.75 \cdot 100} \cdot 0.95 \cdot 10^{-3} = 446,46 \text{ кВт.}$$

Найдем реактивную нагрузку системы освещения цеха

$$Q_{осв} = 446.46 \cdot 1.33 = 595,28 \text{ квар.}$$

Найдем суммарную расчетную активную и реактивную нагрузки

$$P_{рн} = 2108.40 + 446.46 = 2554,86 \text{ кВт};$$

$$Q_{рн} = 2427.55 + 595.28 = 3022,83 \text{ квар.}$$

Найдем полную расчётную нагрузку

$$S_p = \sqrt{2554.86^2 + 3022.83^2} = 3957,88 \text{ кВА}$$

Результаты расчета электрических нагрузок для остальных цехов приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Результаты расчёта нагрузок по цехам предприятия

Параметр Цех	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5	Ц6	Ц7	Ц8
$\sum P_{нi}, \text{ кВт}$	3060	312	1830	2570	4420	220	1640	830
$\sum P_{нi} \cdot K_{иi}, \text{ кВт}$	1769	167	2306	965	2510	70	1032	550
$\sum P_{нi} \cdot K_{иi} \cdot \text{tg}\varphi_i, \text{ квар}$	1924	194	1729	1172	2890	113	915	593
$K_{и гр}$	0.58	0.54	0.63	0.38	0.57	0.32	0.63	0.66
$nэ$	30	4	22	41	31	14	20	22
$P_p, \text{ кВт}$	1468.27	167.30	2075.22	723.75	2108.40	59.50	928.80	494.55
$Q_p, \text{ квар}$	1596.71	194.38	1556.42	879	2427.55	95.94	823.54	533.60
$P_{осв}, \text{ кВт}$	452.20	110.54	265.29	361.76	446.46	128.6	57.88	72.35
$Q_{осв}, \text{ квар}$	602.93	147.38	353.72	482.35	595.28	171.5	77.18	96.47
$P_{рн}, \text{ кВт}$	1920.47	277.84	2340.51	1085.51	2554.86	188.1	986.68	566.90
$Q_{рн}, \text{ квар}$	2199.64	341.77	1910.14	1361.63	3022.83	267.4	900.72	630.07
$S_p, \text{ кВА}$	2920.04	440.45	3021.03	1741.37	3957.88	326.9	1335.9	2029.8

Найдем расчётную активную нагрузку по предприятию целиком

$$P_p = K_0 \cdot \sum_{i=1}^m K_{ui} \cdot P_{номi} + P_\delta + P_{осв} + \Delta P_m; \quad 2.15$$

Найдем расчётную реактивную нагрузку по предприятию целиком

$$Q_p = K_0 \cdot \sum_{i=1}^m K_{ui} \cdot P_{номi} \cdot \operatorname{tg}\phi_i + Q_{осв} + \Delta Q_m; \quad 2.16$$

На территории предприятия предполагается установка двух РП.

Определим расчётную нагрузку на шинах РП1.

Найдем среднее значение коэффициента использования

$$K_u = \frac{3060 \cdot 0.58 + 1050 \cdot 0.59 + 1640 \cdot 0.63}{3060 + 1050 + 1640} = 0,59.$$

Найдем активную расчетную нагрузку РП1

$$P_p = 1 \cdot 33420.50 + 5780 + 900.57 + 22.75 = 10123,82 \text{ кВт}.$$

Найдем расчётную реактивную нагрузку РП1

$$Q_p = 1 \cdot 3030.58 + 1200.7 + 170.02 - 804 = 3597,29 \text{ квар}.$$

Найдем полную нагрузку РП1

$$S_p = \sqrt{10123.82^2 + 3597.29^2} = 10743,94 \text{ кВА}.$$

Аналогичным образом определим расчетную нагрузку для РП2

$$K_u = 0,53; K_0 = 1; P_p = 8131,94 \text{ кВт}; Q_p = 2443,61 \text{ квар}; S_p = 8491,17 \text{ кВА}.$$

### **3 Выбор схемы внутрицеховой электрической сети**

Цеховые сети трехфазного переменного тока с номинальным напряжением до 1 кВ выполняются по схемам: радиальной, магистральной или использующей элементы этих двух сетей, т.е. смешанной сети [2, 6, 7].

Радиальные схемы внутрицехового электроснабжения позволяют обеспечить высокую надежность электроснабжения потребителей электроэнергии, удобны при эксплуатации, в них с достаточной легкостью применяются элементы автоматики.

По радиальным схемам выполняются сети внутреннего электроснабжения насосных или компрессорных станций, сети в пыльных и опасных по коррозии помещениях, сети пожаро- и взрывоопасных производств.

Магистральные схемы внутрицехового электроснабжения используются для питания силовых электроприемников и осветительных установок, равномерно распределенных по площади цеха, а также группы электроприемников, относящихся к одной технологической линии. Таким образом, одна магистральная линия запитывает ряд распределительных шкафов и крупные электроприемники цеха.

Группы электроприемников цеха будут получать питание от распределительного шинпровода ШРА4, который будет запитан от магистрального шинпровода ШМА4, который в свою очередь будет подключен к ТП по схеме трансформатор-магистраль. Шинпровод ШМА4 крепится на подвесе на высоте 5м от уровня пола помещения.

Сечения токопроводящей жилы проводов и кабелей выбираются на напряжение 0,4 кВ согласно ПУЭ по условию нагрева длительным расчетным током, протекающим через проводник в нормальном и послеаварийном режимах, условиям окружающей среды и проверяются на не превышение допустимой потери напряжения в проводнике, соответствию току выбранного защитного аппарата, по условиям динамической и термической стойкости к токам КЗ.

Расчетная токовая нагрузка линии определяется

$$I_{\text{расч.норм}} = \frac{S_{\text{расч.макс}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}.$$

Сечение определяют предварительно по расчетному току нормального режима следующим образом:

$$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{доп}} \cdot k_{\text{п}},$$

где  $I_{\text{доп}}$  - длительно допустимый ток кабелей (проводов), определяется по справочным материалам;

$k_{\text{п}}$  - коэффициент на условия прокладки для кабелей:

$$k_{\text{п}} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3;$$

$k_1$  - коэффициент, который учитывает температуру окружающей среды;

$k_2$  - коэффициент, который учитывает влияние способа прокладки проводника;

$k_3$  - коэффициент, который учитывает влияние друг на друга проложенных рядом проводников (при расстоянии между проводниками менее двух диаметров большего из проводников).

Таким образом, сечение проводника увеличивается по сравнению с тем, которое могло быть выбрано по  $I_{\text{рmax}}$  без учета вышеуказанных факторов.

При этом номинальный ток автоматического выключателя 0,4 кВ  $I_{\text{н.а}}$  защищающего выбранный проводник, должен превышать максимальный ток нагрузки

$$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{н.а}}.$$

Значения коэффициентов приведены в (ПУЭ гл. 1.3).

Проверка сечений по термической стойкости к токам КЗ производится по формуле:

$$F_{\text{терм}} = \frac{I_{\text{расч.кз}} \cdot \sqrt{t_{\text{откл}}}}{c},$$

где  $I_{\text{расч.кз}}$  - суммарный ток КЗ от энергосистемы;

$t_{\text{откл}}$  - расчетное время отключения КЗ;



$c$  - термический коэффициент для кабелей (точное значение указывается производителем кабеля).

В среднем можно принять:

кабели на напряжение до 1 кВ: для меди  $c = 125$ , для алюминия  $c = 90$ .

Как правило, такую проверку выполняют только для кабелей, подключаемых к главному (или вводному) распределительному щиту.

При коротких замыканиях температура нагрева проводника не должна превышать предельно допустимой для изоляции проводника температуры.

Сечения жил в зависимости от протекающего по ней тока для проводов и кабелей при различных способах прокладки проводников указаны в Правилах устройства электроустановок, справочниках и в материалах предприятия-изготовителя проводниковой продукции.

При выборе сечения проводников для силовой сети напряжением до 1 кВ должно соблюдаться условие

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_P}{k_{\text{нопр}}}, \quad 3.1$$

Сечение проводов и кабелей должно согласовываться с токами их защитных аппаратов

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_3 \cdot k_3}{k_{\text{нопр}}}, \quad 3.2$$

В качестве примера выбора проводников произведем выбор для линии раскрыя металлокорда.

С учетом выполнения условия (3.1) для первого двигателя АИР180М2  $I_{P,ДВ} = 55.67 \text{ А}$  выбираем провод АПВ 5 1х25 с  $I_{\text{доп}} = 70 \text{ А}$ ; для второго двигателя АИР160S2  $I_{P,ДВ} = 28.29 \text{ А}$  выбираем провод АПВ 5 1х8 с  $I_{\text{доп}} = 37 \text{ А}$ ; для третьего двигателя АИР90L2  $I_{P,ДВ} = 6.20 \text{ А}$  выбираем провод АПВ 5 1х2.5 с  $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$ ; для четвертого двигателя АИР90L4  $I_{P,ДВ} = 5.29 \text{ А}$  выбираем провод АПВ 5 1х2.5 с  $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$ .

Проверяем выбранные сечения проводов на соответствие токам автоматических выключателей.

Для первого двигателя АИР180М2  $I_{H.P.} = 63 \text{ A}$

$$70 \text{ A} > \frac{63 \cdot 1}{1} \text{ A}$$

условие проверки выполняется.

Для второго двигателя АИР160S2  $I_{H.P.} = 31.5 \text{ A}$

$$37 \text{ A} > \frac{31.5 \cdot 1}{1} \text{ A}$$

условие проверки выполняется.

Для третьего двигателя АИР90L2  $I_{H.P.} = 10 \text{ A}$

$$19 \text{ A} > \frac{10 \cdot 1}{1} \text{ A}$$

условие проверки выполняется.

Для четвертого двигателя АИР90L4  $I_{H.P.} = 8 \text{ A}$

$$19 \text{ A} > \frac{8 \cdot 1}{1} \text{ A}$$

условие проверки выполняется.

Расчетный ток станка  $I_{P.CT} = 73.01 \text{ A}$ , выбираем для него провод АПВ 5 1x35 с  $I_{дон} = 85 \text{ A}$ . Проверим на соответствие току предохранителя  $I_B = 250 \text{ A}$ ,  $K_3 = 0.33$ .

$$85 \text{ A} \geq \frac{250 \cdot 0.33}{1} = 82.5 \text{ A}.$$

условие проверки выполняется.

Результаты выбора проводников приведены в таблицах 3.1 и 3.2.

Магистральный шинопровод выбираем по номинальной мощности цехового трансформатора

$$I_n \geq \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}; \quad 3.3$$
$$I_n \geq \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 2431 \text{ A}.$$

Таблица 3.1 - Результаты выбора кабелей марки АВВГ для станков группы А1

№	$I_p, A$	Кол-во кабелей	Число жил и сечение	Идоп, А
13,14	279.61	2	5x95	170
3,4,17,18,19,20	237.06	1	5x185	270
15,16	279.61	2	5x95	170

Таблица 3.2 - Результаты выбора проводов марки АПВ для станков группы А2

№	$I_p, A$	Кол-во кабелей	Число жил и сечение	Идоп, А
13,14	8.73	5	1x2.5	19
3,4,17,18,19,20	6.40	5	1x2.5	19
15,16	66.40	5	1x50	120
5, 6, ,7,8	44.45	5	1x35	85
1,2	73.01	5	1x50	120
9,10, 11,12	42.39	5	1x25	70

Распределительные и магистральные шинопроводы выбираем по расчетному току

$$I_n \geq I_p, \quad 3.4$$

Для группы электроприемников А1 присоединяемых к магистральному шинопроводу ШМА с параметрами  $n_s = 20$ ;  $K_u = 0.63$ ;  $Kp = 0.9$ ;  $P_p = 1095.01 \text{ кВт}$ ;  $Q_p = 822,01 \text{ квар}$ ;  $S_p = 1370.01 \text{ кВА}$ ;  $I_p = 2081.52 \text{ А}$ . выбираем шинопровод ШМА4-2500, рассчитанный на номинальный ток 2500А.

Найдем расчетный ток для выбора автоматического выключателя

$$I_n = \frac{\beta_{m.a} S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_n = \frac{1.4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 3403,33 \text{ А}$$

Выбираем автоматический выключатель ВА-СЭЩ-В-АН-40Е  
 $I_{н.а} = 4000 \text{ А}$  с  $I_p = 4000 \text{ А}$ .

Для группы электроприемников А2 присоединяемых к распределительному шинопроводу ШРА с параметрами  $n_s = 35$ ;  $K_u = 0.65$ ;  $K_p = 1$ ;  $P_p = 320 \text{ кВт}$ ;  $Q_p = 239.24 \text{ квар}$ ;  $S_p = 398.74 \text{ кВА}$ ;  $I_p = 605.82 \text{ А}$  выбираем шинопровод ШРА4-630, рассчитанный на номинальный ток 630А.

Выбираем автоматический выключатель

$$I_{н.а} \geq I_p = 605,82 \text{ А},$$

$$I_{н.р} \geq I_p = 605,82 \text{ А}.$$

Принимаем  $I_{н.а} = I_{н.р} = 630 \text{ А}$

Найдем пиковый ток

$$I_{тик} \approx I_{пуск.наиб} + (I_p - K_u \cdot I_p)$$

$$I_{тик} = 389.67 + (605.82 - 0.65 \cdot 30) = 975,99 \text{ А}.$$

Найдем ток срабатывания расцепителя

$$I_{ср} = I_{ср} \geq 1.25 \cdot I_{тик},$$

$$I_{ср} = 1.25 \cdot 975.99 = 1220 \text{ А}.$$

При кратности тока срабатывания выключателя  $k_{кр} = 10$

$$k_{кр} \cdot I_{нр} = 10 \cdot 630 = 6300 \text{ А}.$$

Условие выбора автомата выполняется т.к.  $6300 > 1220$ .

Выбираем автоматический выключатель ВА-СЭЩ-TS800 с  $I_{н.а} = 800 \text{ А}$ .

Для питающего кабеля

$$I_{ол} \geq 606 \text{ А};$$

$$I_{ол} \geq I_{кр} \cdot k_z = 630 \cdot 1 = 630 \text{ А}.$$

Выбираем кабель марки 2ААШВУ- 5х240 с  $I_n = 330 \text{ А}$ .

Номинальный ток плавкой вставки  $I_{ВС}$  предохранителя находится:

- по значению длительного расчетного тока  $I_p$

$$I_{ВС} \geq I_p; \quad 3.5$$

- по перегрузке пусковыми токами

$$I_{BC} \geq \frac{I_{KP}}{\alpha}, \quad 3.6$$

Найдем кратковременный максимальный ток группы ЭП

$$I_{KP} = I_{пик} = I_{пуск.наиб.} + (I_p - k_u \cdot I_{н.наиб.}), \quad 3.7$$

Результаты выбора автоматических выключателей приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты выбора автоматических выключателей

Группа	№ ЭП	$I_p, A$	$I_{пик}, A$	$I_{пик} / \alpha$	Автомат ВА-СЭЩ
А1	13,14	279.61	2013.21	2516.51	TS 400 $I_n = 400A, I_p = 300A$
	3,4,17,18,19,20	237.06	1540.89	1926.12	TS 250 $I_n = 250A, I_p = 250A$
	15,16	279.61	2013.21	2516.51	TS 400 $I_n = 400A, I_p = 300A$
А2	13,14	8.73	48.12	19.25	TS 100 $I_n = 100A, I_p = 12A$
	3,4,17,18,19,20	6.40	34.69	13.88	TS 100 $I_n = 100A, I_p = 12A$
	15,16	66.40	290.24	116.10	TS 100 $I_n = 100A, I_p = 100A$
	5,6,7,8	44.45	263.09	105.24	TS 100 $I_n = 100A, I_p = 63A$
	1,2	73.01	426.50	170.60	TS 100 $I_n = 100A, I_p = 100A$
	9,10,11,12	42.39	189.98	75.99	TS 100 $I_n = 100A, I_p = 63A$

#### 4 Расчет электрического освещения цеха

При размещении световых приборов (СП) в помещениях производства должен быть учтен ряд требований [8, 9]:

- обеспечение нормируемой освещенности при наименьших затратах;
- соблюдение нормативных требований к качеству освещения (таким как равномерность, направленность света, ограничение теней и пульсаций освещенности, уменьшение прямой и отраженной блескости);
- безопасный и удобный доступ для обслуживающего персонала;
- минимальную протяженность и удобство для монтажа сети;
- надежность закрепления световых приборов.

Для повышения экономичности осветительных установок (ОУ) можно использовать как равномерные, так и неравномерные схемы размещения световых приборов. При трех и более рядах световых приборов в пролете предпочтение следует отдавать схемам с разреженными центральными рядами. Если ОУ выполнена световыми приборами с ЛЛ и в средних рядах СП располагаются с разрывами, то в крайних рядах СП должны быть размещены без разрывов. Это позволяет снизить неравномерность освещения и обеспечить нормируемую освещенность при меньшей установленной мощности.

При выборе места и способа монтажа СП следует учитывать строительные особенности помещений, их высоту, наличие кранов и транспортировочного оборудования. При наличии в помещениях мостовых кранов они могут затенять расположенные выше приборы для создания общего освещения, что приводит к снижению освещенности около крана. Тогда под мостом крана устанавливают СП для подкранового освещения, и запитывают их от силовой сети крана. Осветительные установки на промышленном предприятии питаются от силовых трансформаторов, на шинах которых поддерживаются уровни напряжения, необходимые для СП. Электрооборудование, используемое в ОУ, и сети освещения должны соответствовать условиям окружающей среды, отвечать требованиям взрыво-,

пожаро- и электробезопасности, иметь в необходимых случаях защиту от механических воздействий. Управление внутренним освещением должно быть удобным для повседневной эксплуатации. В помещениях цехов при недостатке естественного освещения или при его отсутствии возможна установка приборов для длительного или кратковременного ультрафиолетового эритемного облучения.

В основном производственном помещении при высоте потолка 8 м принимаем к установке светодиодные светильники. Во вспомогательных помещениях при высоте потолков 5 м принимаем к установке светильники с люминесцентными лампами.

Вдоль основных проходов устанавливаем эвакуационное освещение.

В качестве светильников рабочего освещения применим светодиодные светильники серии HB LED выпускаемые компанией «Световые технологии».

Найдем расчетную высоту подвеса светильников

$$H_p = H - h_c - h_p, \quad 4.1$$

$$H_p = 8 - 1.4 - 0.8 = 5.8 \text{ м.}$$

Принимаем расстояние между соседними светильниками или рядами светильников  $L = 6 \text{ м}$ .

Параметры участка следующие ширина  $B=23.6 \text{ м}$ , длина  $A=50 \text{ м}$ .

Найдем число рядов светильников

$$R = \frac{B - 2 \cdot l}{L} + 1; \quad 4.2$$

$$R = \frac{23.6 - 2 \cdot 2}{6} + 1 = 5 \text{ рядов;}$$

Найдем число светильников в ряду находится как

$$N_R = \frac{A - 2 \cdot l}{L} + 1. \quad 4.3$$

$$N_R = \frac{50 - 2 \cdot 2}{6} + 1 = 8 \text{ светильников.}$$

Найдем фактическое расстояние между рядами светильников

$$L_B = \frac{B - 2 \cdot l}{R - 1}; \quad 4.4$$

$$L_B = \frac{23.6 - 2 \cdot 2}{5 - 1} = 4.9 \text{ м};$$

Найдем фактическое расстояние между лампами в ряду

$$L_R = \frac{A - 2 \cdot l}{N_R - 1}; \quad 4.5$$

$$L_R = \frac{50 - 2 \cdot 2}{8 - 1} = 6.57 \text{ м}.$$

Выполним проверку правильности расположения светильников

$$1,0 \leq \frac{L_A}{L_B} \leq 1,5; \quad 4.6$$

$$1,0 \leq 1.34 \leq 1,5.$$

Общее количество светильников  $N = 5 \cdot 8 = 40$  шт.

Найдем световой поток одной лампы по методу коэффициента использования светового потока

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot F \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad 4.7$$

Найдем индекс помещения

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}. \quad 4.8$$

$$i = \frac{50 \cdot 23.6}{5.8 \cdot 50 + 23.6} = 2.76.$$

Принимаем коэффициенты отражения потолка, стен и рабочей поверхности  $\rho_n = 0,5$ ,  $\rho_c = 0,5$ ,  $\rho_p = 0,1$ . По справочным таблицам найдем  $\eta = 0.745$ .

Тогда по формуле (4.7)

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1.4 \cdot 1180 \cdot 1.15}{40 \cdot 0.745} = 19126 \text{ лм}.$$



По требуемому световому потоку из каталога производителя выбираем светильник серии НВ 228 LED номинальной мощностью 225 Вт, со световым потоком 21000 лм, что лежит в пределах допустимого отклонения -10% - +20%.

Для примера приведём расчёт освещения для трансформаторной подстанции. Данное помещение имеет следующие геометрические размеры:  $A=12$  м,  $B=5$  м,  $H=5$  м,  $h_c=1.4$  м,  $h_p=0.8$  м. Принимаем к установке двухламповые светильники марки ВАТ 236 с люминесцентными лампами мощностью по 36 Вт.

Найдем необходимое число светильников в ряду

$$N_R = \frac{E \cdot K \cdot F \cdot Z}{m \cdot R \cdot \Phi \cdot \eta}; \quad 4.9$$

Найдем расчетную высоту установки светильников

$$H_p = 5.0 - 1.4 - 0.8 = 2.8 \text{ м.}$$

Найдем индекс помещения

$$i = \frac{12 \cdot 5}{2.8 \cdot 12 + 5} = 1.26.$$

Принимаем коэффициенты отражения потолка, стен и рабочей поверхности  $\rho_n=0,5$ ,  $\rho_c=0,5$ ,  $\rho_p=0,1$ . По справочным таблицам найдем  $\eta=0.64$ . Нормируемая освещенность согласно нормам составляет 100 лк.

Тогда

$$N_R = \frac{100 \cdot 2 \cdot 60 \cdot 1.15}{2 \cdot 1 \cdot 3200 \cdot 0.64} = 2.36;$$

Принимаем число светильников равным 3 шт.

Найдем фактическое расстояние между светильниками в ряду

$$L_R = \frac{12 - 2 \cdot 1.3 - 3 \cdot 1.2}{3 - 1} = 2.9.$$

Размещаем светильники вдоль помещения на одинаковом расстоянии от стен т.к.  $R=1$ .

Результаты расчётов рабочего освещения для остальных помещений выполняем аналогично, результаты заносим в таблицу 4.1.

Для расчета эвакуационного освещения используем точечный метод.

Освещенность в контрольной точке определяется как сумма освещенностей от ближайших светильников

$$\Sigma e = e_1 + e_2 + \dots + e_n, \quad 4.10$$

Световой поток одной лампы находится как

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E \cdot k}{\mu \cdot \Sigma e}, \quad 4.11$$

$$\Sigma e = 0.35 + 0.35 + 0.35 + 0.35 = 1.4 \text{ лк.}$$

Тогда

$$\Phi = \frac{1000 \cdot 0.5 \cdot 1.4}{1.1 \cdot 1.4} = 455 \text{ лм.}$$

По каталогу производителя принимаем лампу накаливания с мощностью лампы  $P_{л} = 90$  Вт и световым потоком 1380 лм. Лампу устанавливаем в светильник НСП21. Всего принимаем для системы аварийного освещения 9 светильников

Таблица 4.1 – Результаты расчёта рабочего освещения

№ ПОМ.	$E$ , лк	$A$ , м	$B$ , м	$H_p$ , м	$i$	$L$ , м	$L$ , м	$R$ , шт.	$N_R$ , шт.	$N$ , шт.	$L_B$ , м	$L_R$ , м	$\eta$	$\Phi$ , лм	$P_{л}$ , Вт
1	300	50.0	23.6	5.80	2.76	6.0	2.0	5	8	40	4.90	6.57	74.5	23000	225
2	100	12.0	5.0	2.80	1.26	3.0	1.3	1	2.36	3	-	2.9	64.0	3200	40
3	100	9.1	5.0	4.20	0.77	3.5	1.5	2	2	4	2	3.7	46.2	3200	40
4	75	5.0	3.3	0.68	0.70	3.0	1.0	1	1	1	-	-	45	3200	40
5	75	5.0	3.3	0.68	0.70	3.0	1.0	1	1	1	-	-	45	3200	40
6	100	5.0	3.4	2.8	0.72	3.0	1.0	1	1	1	-	-	45	3200	40
7	100	5.0	3.4	2.8	0.72	3.0	1.0	1	1	1	-	-	45	3200	40
8	100	5.0	3.4	2.8	0.72	3.0	1.0	1	1	1	-	-	45	3200	40
9	100	5.0	4.5	2.8	0.85	2.5	1.0	1	2	2	-	0.6	50	3200	40
10	100	5.0	2.0	2.8	0.51	3.0	1.0	1	1	1	-	-	41	3200	40
11	100	5.0	4.5	2.8	0.85	2.5	1.0	1	2	2	-	0.6	50	3200	40

## 5 Выбор цеховых КТП

По месту расположения на территории промышленного предприятия подстанции классифицируются как [10-12]:

- внутрицеховые – подстанции, располагающиеся внутри производственных зданий, не имеющие общих стен с цехом, с размещением электрических аппаратов в производственном или отделенном закрытом помещении с выходом в цех;

- встроенные - подстанции, располагающиеся в отдельных помещениях, имеющих общую стену с основным зданием, но с выкаткой силовых трансформаторов и установленных выключателей наружу здания;

- пристроенные - подстанции, имеющие общую стену с основным зданием, но расположенные снаружи производственного корпуса;

- отдельностоящие – подстанции расположенные на определенном расстоянии от производственных корпусов.

На предприятиях используют трансформаторные подстанции внутренней и наружной установки. На стороне высокого напряжения в КТП могут быть установлены коммутационные аппараты:

- выключатели нагрузки с предохранителями;
- разъединители с предохранителями.

Со стороны низкого напряжения устанавливается блок предохранитель-выключатель типа БПВ, автоматы типов АВМ, АЗ700, Электрон, ВА или импортного производства.

Комплектные трансформаторные подстанции можно разделить:

- на однотрансформаторные;
- на двухтрансформаторные.

В качестве источников реактивной мощности в первую очередь используют батареи статических конденсаторов (БСК) до 1 кВ и синхронные двигатели (СД) 6...10 кВ.

## 5.1 Выбор силовых трансформаторов цеховых КТП

Минимальное число силовых трансформаторов определяется по выражению:

$$N_{\min} = \frac{P_{\text{рн}}}{\beta_m \cdot S_m} + n; \quad 5.1$$

Проведем расчет числа силовых трансформаторов для цеха №1

$$N_{\min} = \frac{1920.47}{0.87 \cdot 1600} = 1.7.$$

Принимаем число цеховых трансформаторов равным 2.

Аналогично произведём расчёт трансформаторов для остальных заводских цехов, результаты занесем в таблицу 5.1.

## 5.2 Компенсация реактивной мощности

Выполним расчёт для подготовительного цеха.

Найдем наибольшее значение реактивной мощности, которое может быть передано через трансформаторы в сеть до 1кВ

$$Q_m = \sqrt{1.1 \cdot S_m \cdot \beta_m \cdot N_{\text{тэ}} \cdot 2^2 - P_{\text{рн}}^2}; \quad 5.2$$

$$Q_m = \sqrt{1.1 \cdot 1600 \cdot 0.7 \cdot 2^2 - 1920^2} = 1543.73 \text{ квар.}$$

Найдем суммарную мощность БНК

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{\text{рн}} - Q_m; \quad 5.3$$

$$Q_{\text{нк1}} = 2199 - 1543.73 = 656 \text{ квар.}$$

Найдем мощность БНК на один трансформатор:

$$Q_{\text{нк}} = \frac{Q_{\text{нк1}}}{N_{\min}}. \quad 5.4$$

$$Q_{\text{нк}} = \frac{656}{2} = 328 \text{ квар.}$$

Таблица 5.1 – Результаты выбора числа трансформаторов ТМЗ

$N_{\varnothing}$	$P_{pH}$ , кВт	$Q_{pH}$ , квар	$S_{pH}$ , кВА	$\beta m$	$N_{T.MIN}$	$N_{\varnothing TII}$	$S_{mp}$ , кВА	$N_T$	$\Delta P_{xx}$ , кВт	$\Delta P_{кз}$ , кВт	$U_{кз}$ , %	$I_{xx}$ , %
1	1920	2199	2920	0.7	1.72	1	1600	2	2.65	16.5	6.0	1.0
2+4	1322	1655	2118	0.7	1.89	3	1000	2	1.90	10.8	5.5	1.2
3	2341	1912	3021	0.7	2.09	2	1600	2	2.65	16.5	6.0	1.0
5	2555	1910	3021	0.7	3.65	4,5	1000	2	1.90	10.8	5.5	1.2
6+8+H O	929	1135	1467	0.7	1.40	7	1000	2	1.90	10.8	5.5	1.2
7	987	901	1135	0.7	1.41	6	1000	2	1.90	10.8	5.5	1.2

Выбираем конденсаторные установки УKM58 0.4-402-67УЗ с номинальной мощностью  $Q_{нкф} = 804 \text{ квар}$ .

Аналогичным образом выполним расчёты КУ для остальных цехов, результаты занесем в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 - Расчет мощности низковольтных батарей в ТП

№	$Q_m$ , квар	$Q_{нк1}$ , квар	$Q_{нк}$ , квар	$Q_{нкф}$ , квар	$Q_{нкф1}$ , кВА
1	2	3	4	5	6
1	1543.73	655.91	327.96	402	804
3	790.68	864.12	432.06	450	900
2	770.26	1139.87	569.94	536	1072
4,5	1720.20	1302.63	325.66	300	1200
7	1227.89	-93.29	-	-	-
6	1182.40	-281.68	-	-	-

### 5.3 Расчет потерь мощности в трансформаторах КТП

Рассчитаем потери мощности в трансформаторах ТП-1.

Найдем потери активной мощности в силовом трансформаторе

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot \beta^2; \quad 5.5$$

$$\Delta P_T = 2 \cdot 2.65 + \frac{16.2}{2} \cdot 0.74^2 = 9,84 \text{ кВт};$$

Найдем коэффициент загрузки силового трансформатора

$$\beta_T = \frac{S_p}{N_{\min} \cdot S_T}; \quad 5.6$$

$$\beta_{T\phi} = \frac{2374.03}{2 \cdot 1600} = 0.74;$$

Найдем полную расчетную мощность при установке конденсаторных батарей

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p - Q_{нкф1}^2}. \quad 5.7$$

$$S_p = \sqrt{1920^2 + 2199 - 804^2} = 2374 \text{ кВА};$$

Найдем потери реактивной мощности в силовом трансформаторе

$$\Delta Q_T = \frac{S_{ном}}{100} (I_{xx} + U_{кз} \cdot \beta_T^2); \quad 5.8$$

$$\Delta Q_T = \frac{1600}{100} \left( 2 \cdot 1 + \frac{6}{2} \cdot 0.74^2 \right) = 58,42 \text{ квар.}$$

Расчет потерь в других силовых трансформаторах выполняем аналогично, а результаты заносим в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 - Результаты расчета потерь в силовых трансформаторах ТП

№	$S_p$ , кВА	$\beta_{m\phi}$	$N_m$	$S_{ном}$ , кВА	$\Delta P_{m\Sigma}$ , кВт	$\Delta Q_{m\Sigma}$ , квар
1	2	3	4	5	6	7
1	2374	0.74	2	1600	9.84	58.42
3	1522	0.76	2	1000	8.15	43.85
2	2486	0.78	2	1600	10.28	60.97
4,5	3138	0.79	4	1000	9.26	56.46
7	1467	0.73	2	1000	6.70	38.79
6	1336	0.67	2	1000	6.21	72.81
Всего	12323	-	-	-	50.45	331.30



## 6 Выбор схемы внутреннего электроснабжения предприятия

Внешнее электроснабжение завода осуществляется по кабельным линиям 10 кВ от ГРУ ТЭЦ.

На предприятии предусмотрены два РП - РП1-10 кВ и РП2-10 кВ, которые комплектуются камерами КСО.

Схема электроснабжения предприятия приведена на рисунке 6.1.

Сечение кабелей выбираем по экономической плотности тока:

$$q_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (6.1)$$

где

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (6.2)$$

Выберем кабельную линию питающую ТПЗ:

$$I_p = \frac{1565.58}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 45.19 \text{ A.}$$

Для кабелей с бумажной изоляцией и  $T_M=6000\text{ч}$   $j_3=1.2$ .

$$q_3 = \frac{45.19}{1.2} = 37.7 \text{ мм}^2.$$

Принимаем сечение жилы кабеля 35 мм<sup>2</sup>.

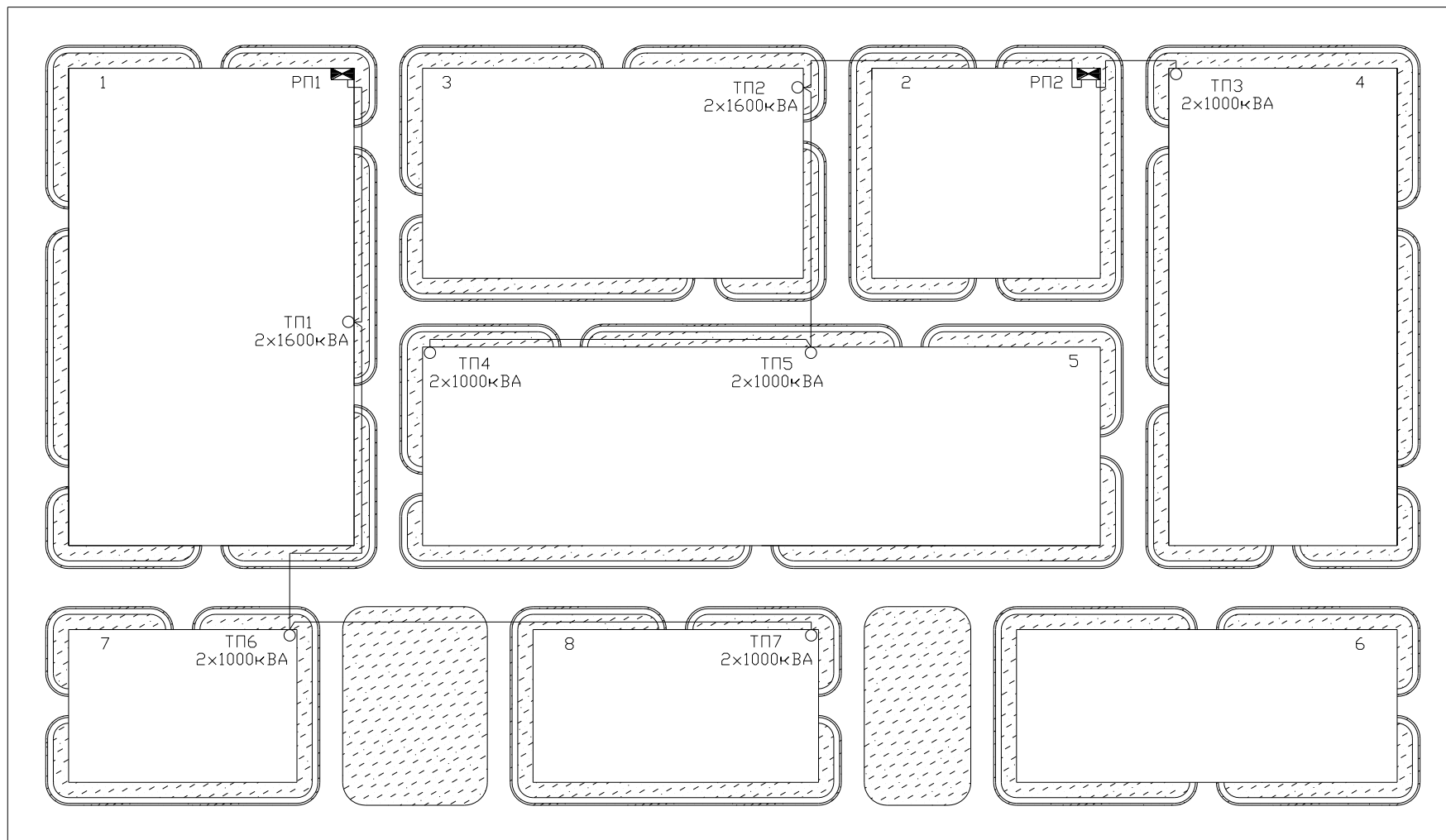


Рисунок 6.1 - Схема электроснабжения предприятия

Выбираем кабель типа ААШВУ 3х35-10 с  $I_{дон} = 115A$ , длиной линии 95м. Затраты на кабель для линии Л4 составляют:

$$K_{Л4} = 3.3 \cdot 0.043 \cdot 2 \cdot 3000 = 851.4 \text{ тыс.руб.}$$

Выбор сечений жил и капитальных затрат для других линий заносим в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Капитальные затраты на кабельные линии

Линия	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А	$q_3$ , мм <sup>2</sup>	$l$ , км	$F$ , мм	$I_{дон}$ , А	$K_0 \cdot 10^3$ , тыс. руб./ км	$K_{л}$ , тыс. руб.
РП1- ТП (1+6+7)	5344.8	154.2	128.6	0.12	3х120	240	4.5	3294
ТП1- ТП(6+7)	2815.5	81.2	67.7	0.25	3х70	165	3.8	5722
ТП6-ТП7	1439.8	41.5	34.6	0.13	3х35	115	3.3	2734
РП2- ТП3	1565.5	45.1	37.7	0.04	3х35	115	3.3	851
РП2- ТП (2+5+4)	5690.1	164.2	136.9	0.15	3х150	275	4.92	4457
ТП2- ТП(5+4)	3202.7	92.4	77.0	0.19	3х70	165	3.8	4468
ТП5- ТП4	1572.7	45.4	37.8	0.18	3х35	115	3.3	3742
Всего								25269

## 7 Расчёт токов КЗ

Расчет токов КЗ выполним в относительных единицах, за базисные величины примем  $S_B = 1000 \text{ МВА}$  и  $U_B = 10,5 \text{ кВ}$ .

Найдем базисный ток

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B}; \quad (7.1)$$

$$I_B = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 54985.74 \text{ А} = 54.99 \text{ кА}.$$

Приведем сопротивления элементов к базисным:

- синхронных генераторов

$$X_G = X_d'' \cdot \frac{S_G}{S_B}; \quad (7.2)$$

- силовых трансформаторов

$$x_T = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{HT}}, \quad (7.3)$$

- кабельных линий

$$X_n = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_G}{U_{cp}^2}; \quad (7.4)$$

$$r_n = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_G}{U_{cp}^2}; \quad (7.5)$$

Определяем ЭДС генератора

$$E = \sqrt{(I_o \cdot x_d'' \cdot \cos \varphi_o)^2 + (U_o + I_o \cdot x_d'' \cdot \sin \varphi_o)^2}; \quad (7.6)$$

Таблица 7.1 – Паспортные параметры генераторов

№	$S_{ном},$ МВА	$P_{ном},$ МВт	$\cos \varphi$	$U_{ном},$ кВ	$I_{ном},$ кА	$X_d''$
Г5-Г7	125.0	100	0,80	10.5	6.88	0.210
Г1-Г4	117.7	100	0,85	13.8	4.92	0.192
Г8-Г9	78.8	63	0,80	10.5	4.33	0.153

Таблица 7.2 - Паспортные параметры трансформаторов

№ тр-ра	$S_{ном},$ МВА	$U_{вн},$ кВ	$U_{нн},$ кВ	$U_{кз},$ %	$\Delta P_x,$ кВт	$\Delta P_k,$ кВт
T8-T9	40	115	10.5	10.5	34	170
T1-T4	80	121	13.8	11.0	85	310
T5-T7	80	115	10.5	10.5	58	310

Найдем ЭДС генераторов Г1-Г4

$$E = \sqrt{(1 \cdot 0.210 \cdot 0,85)^2 + (1 + 1 \cdot 0.210 \cdot 0,527)^2} = 1.125.$$

Найдем ЭДС генераторов Г5-Г7

$$E = \sqrt{(1 \cdot 0.192 \cdot 0,85)^2 + (1 + 1 \cdot 0.192 \cdot 0,6)^2} = 1.126.$$

Найдем ЭДС генераторов Г8-Г9

$$E = \sqrt{(1 \cdot 0.153 \cdot 0,85)^2 + (1 + 1 \cdot 0.153 \cdot 0,6)^2} = 1.099.$$

Найдем сопротивление трансформаторов Т1-Т4

$$x_{T1-T4} = \frac{11}{100} \cdot \frac{1000}{80} = 1.38;$$

Найдем сопротивление трансформаторов Т5-Т7

$$x_{T5-T7} = \frac{10.5}{100} \cdot \frac{1000}{80} = 1.31;$$

Найдем сопротивление трансформаторов Т8 - Т9

$$x_{T8,T9} = \frac{10.5}{100} \cdot \frac{1000}{40} = 2.63;$$

Найдем сопротивление генераторов Г1-Г4

$$x_{Г1-Г4} = 0.210 \cdot \frac{1000}{117.7} = 1.78.$$

Найдем сопротивление генераторов Г5-Г7

$$x_{Г5-Г7} = 0.192 \cdot \frac{1000}{125} = 1.54.$$

Найдем сопротивление генераторов Г8-Г9

$$x_{\Gamma 8, \Gamma 9} = 0.153 \cdot \frac{1000}{78.8} = 1.94.$$

Найдем сопротивление линии электропередачи

$$x_{л1} = 0.4 \cdot 95 \cdot \frac{1000}{115^2} = 2.87.$$

Результаты расчетов остальных КЛ заносим в таблицу 7.3.

Таблица 7.3 – Результаты расчетов сопротивлений КЛ

№ КЛ	$l, \text{ км}$	$X_{л}$
1	95	2.87
2	95	2.87
3	70	2.12
4	90	2.72
5	90	2.72
6	60	1.81
7	60	1.81

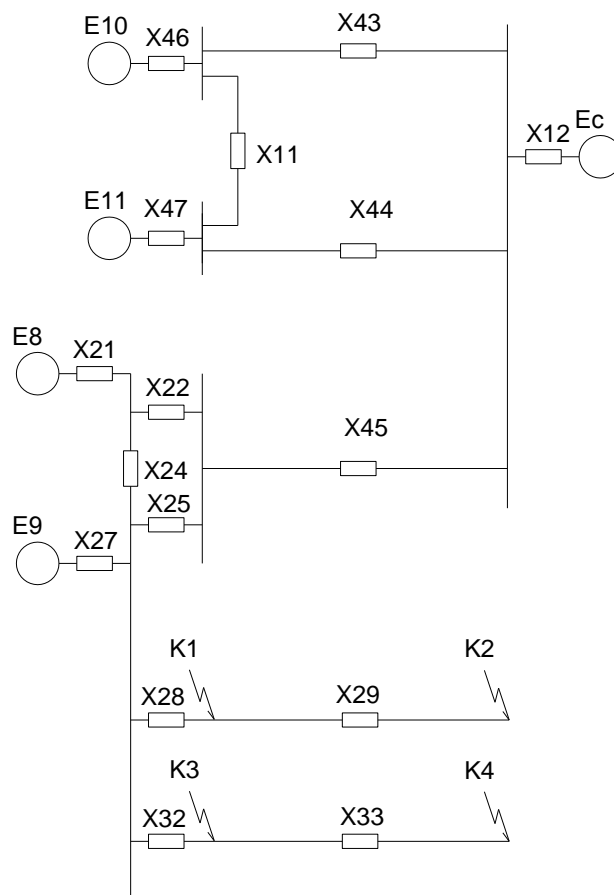


Рисунок 7.1 – Схема замещения для определения токов К3

$$x_{36} = x_1 + x_2 = 1.78 + 1.38 = 3.16;$$

$$x_{36} = x_{37} = x_{38} = x_{39}$$

$$x_{46} = \frac{1}{1/x_{36} \cdot 4} = \frac{1}{1/3.16 \cdot 4} = 0.79;$$

$$x_{40} = x_{13} + x_{14} = 1.54 + 1.31 = 2.85;$$

$$x_{40} = x_{41} = x_{42}$$

$$x_{46} = \frac{1}{1/x_{40} \cdot 3} = \frac{1}{1/2.85 \cdot 4} = 0.95;$$

$$x_{43} = \frac{x_5 \cdot x_8}{x_5 + x_8} = \frac{2.87}{2} = 1.44;$$

$$x_{44} = \frac{x_{17} \cdot x_{20}}{x_{17} + x_{20}} = \frac{2.72}{2} = 1.36;$$

$$x_{45} = \frac{x_{23} \cdot x_{26}}{x_{23} + x_{26}} = \frac{1.81}{2} = 0.91;$$

$$E_{10} = \frac{E_1 \cdot 1/x_{36} \cdot 4}{1/x_{36} \cdot 4} = \frac{1.25 \cdot 1/3.16 \cdot 4}{1/3.16 \cdot 4} = 1.12;$$

$$E_{11} = \frac{E_5 \cdot 1/x_{40} \cdot 3}{1/x_{40} \cdot 3} = \frac{1.26 \cdot 1/2.85 \cdot 3}{1/2.85 \cdot 3} = 1.13;$$

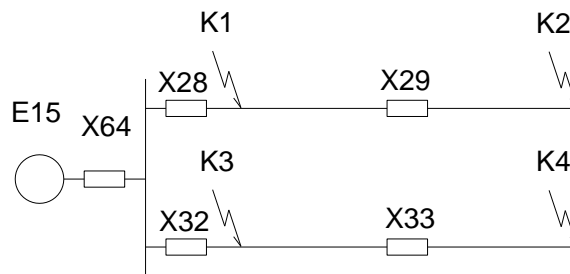


Рисунок 7.2 – Преобразованная схема замещения

$$x_{63} = x_{53} + x_{62} = 0.62 + 1.21 = 1.84;$$

$$x_{64} = x_{\Sigma} = \frac{x_{63} \cdot x_{27}}{x_{63} + x_{27}} = \frac{1.84 \cdot 1.94}{1.84 + 1.94} = 0.94;$$

$$E_{15} = E_{экв} \frac{E_9 \cdot x_{62} + E_{14} \cdot x_{27}}{x_{62} + x_{27}} = \frac{1.099 \cdot 1.84 + 1.07 \cdot 1.94}{2.3 + 2.57} = 1.08;$$

Найдем установившийся ток КЗ

$$I_{\kappa} = \frac{E_{\text{экв}}}{x_{\Sigma}} \cdot I_{\text{Б}}; \quad (7.7)$$

Найдем ударный ток КЗ

$$i_{\text{y}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{y}} \cdot I_{\text{п.0}}; \quad (7.8)$$

Найдем установившийся ток КЗ для ГРУ

$$I_{\kappa 1} = \frac{1.08}{0.94} \cdot 54.99 = 63.13 \text{ кА.}$$

Т.к. ток КЗ превышает 20 кА, то необходима установка реактора. Найдем необходимое сопротивление реактора

$$X'_{\Sigma} = \frac{U_{\text{cp}}}{\sqrt{3} \cdot I'_{\kappa}} = \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot 20} = 0.3 \text{ Ом.}$$

$$X_{\Sigma} = \frac{U_{\text{cp}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\kappa}} = \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot 63.13} = 0.1 \text{ Ом.}$$

$$X_{\text{реак}} = X'_{\Sigma} - X_{\Sigma} = 0.3 - 0.1 \text{ Ом.} = 0.21 \text{ Ом.}$$

Выбираем реактор РБУ 10-1000-0,35У3 с сопротивлением  $X = 0,35 \text{ Ом.}$

Найдем ток КЗ при установке реактора:

$$X_{\text{p}^*} = X_{\text{p}} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{cp}}^2} = 0.35 \cdot \frac{1000}{10.5^2} = 3.17;$$

$$I_{\kappa 1} = \frac{54.99 \cdot 1.08}{3.17 + 0.94} = 14.47 \text{ кА.}$$

Выберем кабель на участке ГРУ – РП.

Найдем расчетный ток РП1

$$I_{\text{p}} = \frac{S_{\text{p}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{10743.94}{\sqrt{3} \cdot 10} = 620.30 \text{ А;}$$

$$I_{\text{кл}} = I_{\text{p}} / 2 = 620.30 / 2 = 310.15 \text{ А.}$$

Выбираем найденный кабель по экономической плотности тока

$$F_{\text{э}} = \frac{310.15}{1,2} = 258.5 \text{ мм}^2;$$

Выбираем 3-хжильный кабель на напряжение 10кВ ААШвУ-3х240 с длительно допустимым током при прокладке в земле  $I_{\text{дон}} = 355 \text{ А.}$



Выполним проверку выбранного сечения по допустимому току

$$I_{\text{доп}} = k_{\text{II}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_{\text{допн}} = 1,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 355 = 461,5 \text{ A} < I_{\text{РА}} = 620,30 \text{ A};$$

условие не выполняется, поэтому выбираем кабель большего сечения.

Выбираем два кабеля ААШВУ-10 3х150 с  $I_{\text{доп}} = 275 \text{ A}$  одного кабеля.

Выполним проверку выбранного сечения по допустимому току

$$I_{\text{доп}} = k_{\text{II}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_{\text{допн}} = 1,3 \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 1 \cdot 275 \cdot 2 = 664,95 \text{ A} > I_{\text{РА}} = 620,30 \text{ A};$$

условие выполняется.

Найдем расчетный ток РП2 и линии ГРУ – РП1

$$I_{\text{P}} = \frac{S_{\text{P}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{8491,16}{\sqrt{3} \cdot 10} = 490,24 \text{ A};$$

$$I_{\text{кл}} = I_{\text{P}} / 2 = 490,24 / 2 = 245,12 \text{ A}.$$

Выбираем найденный кабель по экономической плотности тока

$$F_{\text{э}} = \frac{245,12}{1,2} = 204,3 \text{ мм}^2;$$

Выбираем 3-х жильный кабель на напряжение 10кВ ААШВУ-3х240 с длительно допустимым током при прокладке в земле  $I_{\text{доп}} = 355 \text{ A}$ .

Выполним проверку выбранного сечения по допустимому току

$$I_{\text{доп}} = k_{\text{II}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_{\text{допн}} = 1,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 355 = 461,5 \text{ A} < I_{\text{РА}} = 490,24 \text{ A};$$

условие не выполняется, поэтому выбираем кабель большего сечения.

Выбираем два кабеля ААШВУ-10 3х150 с  $I_{\text{доп}} = 275 \text{ A}$  одного кабеля.

Выполним проверку выбранного сечения по допустимому току

$$I_{\text{доп}} = k_{\text{II}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_{\text{допн}} = 1,3 \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 1 \cdot 275 \cdot 2 = 664,95 \text{ A} > I_{\text{РА}} = 490,24 \text{ A};$$

условие выполняется.

Минимально допустимое сечение проводника определяется по условию

$$F_{\text{m}} = \frac{\sqrt{B_{\text{k}}}}{C}; \quad (7.10)$$

тепловой импульс

$$B_{\text{k}} = I_{\text{k}}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_{\text{a}}); \quad (7.11)$$

Проверим также выбранное сечение на термическую стойкость.

$$B_K = (14.47 \cdot 10^3)^2 \cdot (5 + 0.01) = 316.07 \cdot 10^6;$$

$$F_m = \frac{\sqrt{316.07 \cdot 10^6}}{100} = 177.78 \text{ мм}^2.$$

Таким образом, для РП1 окончательно выбираем кабели 2ААШВУ-10 3х150 .

По справочным таблицам удельные сопротивления выбранного кабеля ГРУ- РП будут  $x_0 = 0,079 \text{ Ом/км}$  и  $r_0 = 0,206 \text{ Ом/км}$ , тогда активное и индуктивное сопротивления в о.е.

$$r_{KL} = 0.206 \cdot 1.7 \cdot \frac{1000}{10.5^2} = 3.18;$$

$$x_{KL} = 0.079 \cdot 1.7 \cdot \frac{1000}{10.5^2} = 1.22.$$

Результирующее сопротивление до точки КЗ К2 будет

$$x_{PEZ} = x_{64} + x_{реакт} + x_{29,30} = 0.94 + 3.17 + 1.56 = 4.73.$$

По (7.8) и (7.9) определяем составляющие тока КЗ в точке К2

$$I_{K2} = \frac{1.08}{4.73} \cdot 54.99 = 12.6 \text{ кА};$$

$$i_V^{K2} = \sqrt{2} \cdot 1.35 \cdot 12.6 = 24.06 \text{ кА}.$$

Рассчитаем токи КЗ для выбора релейной защиты блока «линия-трансформатор».

Сопротивление линии РП2 – ТПЗ при  $x_0 = 0.081 \text{ Ом/км}$ ,  $r_0 = 0.253 \text{ Ом/км}$ .

$$r_{ЛТПЗ} = 0.253 \cdot 0.2 \cdot \frac{1000}{10.5^2} = 0.46$$

$$x_{ЛТПЗ} = 0.081 \cdot 0.2 \cdot \frac{1000}{10.5^2} = 0.15$$

Ток трехфазного КЗ на стороне 10кВ трансформатора Т1 цеховой ТПЗ:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{1.08}{4.73 + 0.15} \cdot 54.99 = 12.22 \text{ кА}$$

Определим ток трехфазного КЗ на стороне 0,4кВ силового трансформатора Т1, установленного на ТПЗ.

Сопротивление системы

$$X_c = \frac{U_{cp.n} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot I_K^{(3)}}; \quad (7.12)$$

$$X_c = \frac{10.5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 12.22} = 495.92 \text{ мОм.}$$

Приведем  $X_c$  к стороне низкого напряжения

$$X_c^{(0)} = \frac{X_c \cdot U_{\text{ср.нн}}^2}{U_{\text{ср.нв}}^2}; \quad (7.13)$$

$$X_c^{(0)} = \frac{495.92 \cdot 0.4^2}{10.5^2} = 0.72 \hat{i} \hat{i}.$$

Активное сопротивление трансформатора находим по выражению

$$R_T = \frac{\Delta P_k \cdot U_H^2}{S_H} \cdot 10^6, \quad (7.14)$$

$$R_T = \frac{10.8 \cdot 0.38}{1000} \cdot 10^6 = 1.56 \text{ мОм.}$$

Индуктивное сопротивление

$$X_T = \sqrt{U_k^2 - \left( \frac{\Delta P_k}{10 \cdot S_H} \right)^2 \cdot \frac{U_H^2}{S_H}} \cdot 10^4; \quad (7.12)$$

$$X_T = \sqrt{5.5^2 - \left( \frac{10.8}{10 \cdot 1000} \right)^2 \cdot \frac{0.38}{1000}} \cdot 10^6 = 7.94 \text{ мОм}$$

Ток трехфазного КЗ на стороне НН

$$I_{\text{кнн}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.нн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}; \quad (7.13)$$

$$I_{\text{кнн}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1.56^2 + 0.72^2 + 7.94^2}} = 26240.32 \text{ А.}$$

Ток трехфазного КЗ приведенный к стороне 10 кВ

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{I_{\text{кнн}}^{(3)}}{n_m}; \quad (7.14)$$

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{26240.32}{26} = 1009.24 \text{ А}$$

## 8 Выбор электрических аппаратов

### 8.1 Выбор коммутационных аппаратов

Высоковольтный выключатель выбирается по номинальному напряжению, номинальному току, проверяется по электродинамической и термической стойкости [13, 14]:

$$U_{н.в.} \geq U_p, \quad (8.1)$$

$$I_{н.в.} \geq I_p; \quad (8.2)$$

$$i_{дин} \geq i_y, \quad (8.3)$$

$$I_t^2 \cdot t \geq I_\infty^2 \cdot t_\infty; \quad (8.4)$$

Находится ударный ток короткого замыкания

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_k; \quad (8.5)$$

Проверяется по отключающей способности

$$S_{отк} \geq S_k; \quad (8.6)$$

где

$$S_{отк} = \sqrt{3} \cdot I_{отк} \cdot U_{н.в.}; \quad (8.7)$$

В качестве примера выберем вводной выключатель РП1.

Выбираем высоковольтный выключатель ВВ/TEL-10-12.5/630-У3:

$$U_{н.в.} = 10кВ = U_p = 10кВ, I_{н.в.} = 630 А \geq I_p = 620.3 А;$$

$$i_{дин} = 51кА \geq i_y = 1.35 \cdot \sqrt{2} \cdot 12.60 = 24.06 кА,$$

$$I_t^2 t = 20^2 \cdot 3 = 1200 кА^2 с \geq 12.6^2 \cdot (1.1 + 0.01) = 176 кА^2 с,$$

$$S_{отк} = \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10 = 346 МВА \geq S_k = \sqrt{3} \cdot 12.6 \cdot 10 = 218.3 МВА;$$

Результаты выбора вводных выключателей РП1 и РП2 сведем в таблицу 8.1. Результаты выбора выключателей на отходящих линиях и межсекционного выключателя занесем в таблицу 8.2.

Выполним выбор разъединителей на вводе в РП1 и РП2. Выбираем разъединитель типа РВФ3-10/630, результаты выбора разъединителей сводим в таблицу 8.3.

Таблица 8.1 - Результаты выбора вводных выключателей РП1 и РП2

Условие	Паспортные данные ВВ/TEL-10-20/630 У2	Данные по РП1	Данные по РП2
$U_{н.в.} \geq U_p, кВ$	10.0	10.0	10.0
$I_{н.в.} \geq I_p, А$	630	620.3	490.24
$i_{дун} \geq i_y, кА$	51	24.06	24.06
$I_{отк} \geq I_k, кА$	20	12.6	12.6
$I_t^2 \cdot t \geq I_\infty^2 \cdot t_\infty, кА^2 \cdot с$	1200	176	176
$S_{отк} \geq S_k, МВА$	346	218.3	218.3

Таблица 8.2 - Результаты выбора выключателей на отходящих линиях и межсекционного выключателя (КСО-202 производства ЗАО «Завод высоковольтного оборудования»)

Условие	Паспортные данные ВВ/TEL-10- -20/630 У2	Расчётные данные по				
		ТП1	ТП2	ТП3	СВ РП1	СВ РП2
$U_{н.в.} \geq U_p, кВ$	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
$I_{н.в.} \geq I_p, А$	630	308.79	331.61	90.44	620.3	490.24
$i_{дун} \geq i_y, кА$	51	24.06	24.06	24.06	24.06	24.06
$I_{отк} \geq I_k, кА$	20	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6
$I_t^2 \cdot t \geq I_\infty^2 \cdot t_\infty, кА^2 \cdot с$	1200	176	176	176	176	176
$S_{отк} \geq S_k, МВА$	346	218.3	218.3	218.3	218.3	218.3

Таблица 8.3 - Результаты выбора разъединителей

Условие	Паспортные данные РВФЗ-10/630	Данные по РП1	Данные по РП2
$U_{н.р.} \geq U_p, кВ$	10.0	620.3	490.24
$I_{н.р.} \geq I_p, кА$	630	24.06	24.06
$i_{дун} \geq i_y, кА$	52	12.6	12.6
$I_t^2 \cdot t \geq I_\infty^2 \cdot t_\infty, кА^2 \cdot с$	1600	176	176

Таким же образом выберем разъединители для отходящих линий и на секционном выключателе, результаты выбора занесем в таблицу 8.4. Выбираем разъединители типа РВФЗ-10/630.

Таблица 8.4 - Выбор разъединителей на отходящих линиях и секционировании

Условие	Паспортные данные РВФЗ-10/630	Расчётные данные по				
		ТП1	ТП4	ТП2	СВ РП1	СВ РП2
$U_{н.р.} \geq U_p, \text{кВ}$	10,0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
$I_{н.р.} \geq I_p, \text{кА}$	630	308.79	331.61	90.44	620.3	490.24
$i_{дшт} \geq i_y, \text{кА}$	41	24.06	24.06	24.06	24.06	24.06
$I_1^2 \cdot t \geq I_\infty^2 \cdot t_\infty,$ $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$	768	176	176	176	176	176

Выполним выбор автоматов в цепях 0,4кВ цеховых трансформаторов:

$$I_{н.а.} \geq I_{p.\max}, \quad (8.8)$$

$$I_{н.р.} \geq I_{p.\max}, \quad (8.9)$$

$$I_{p.\max} = \frac{1.4 \cdot S_{н.м.}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1.4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 2127.08 \text{ А},$$

$$I_{p.\max} = \frac{1.4 \cdot S_{н.м.}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1.4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 3403.33 \text{ А},$$

По условиям для силовых трансформаторов мощностью  $S_{н.м.} = 1000$  кВА выбираем автоматический выключатель типа ВА-СЭЦ-В-АН25Е с  $I_{н.а.} = 2500$  А,  $I_{н.р.} = 2500$  А, для трансформаторов мощностью  $S_{н.м.} = 1600$  кВ·А двухтрансформаторной подстанций выбираем ВА-СЭЦ-В-АН40Е с  $I_{н.а.} = 4000$  А и  $I_{н.р.} = 4000$  А.

Выбираем секционный выключатель:

$$I_{на} \geq \frac{0.7 \cdot 1.4 \cdot S_o}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = \frac{0.7 \cdot 1.4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 1488.96 \text{ А}.$$

Выбираем автоматический выключатель ВА-СЭЦ-В-АН16Е с  $I_{н.а.} = 1600$  А,  $I_{н.р.} = 1600$  А. Аналогично выбираем автомат для ТП с трансформаторами на 1600 кВА: ВА-СЭЦ-В-АН25Е с  $I_{н.а.} = 2500$  А,  $I_{н.р.} = 2500$  А.

Номинальный ток батареи низковольтных конденсаторов определяется

$$I_{HK} = \frac{Q_{HK}}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (8.10)$$

Выбор выполняем с учётом условия

$$I_y = \frac{1,25 \cdot Q_{HK}}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (8.11)$$

Для КУ УКМ58-0.4-402-67У3

$$I_{HK} = \frac{402}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 610,78 \text{ A},$$

$$I_y = \frac{1,25 \cdot 402}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 763,47 \text{ A}$$

По справочным таблицам выбираем автомат ВА-СЭЩ-В-АН06Е с  $I_{н.р.} = 630 \text{ A}$ ,  $k = 2$ . Для УКМ58-0.4-536-67У3 выбираем автоматический выключатель ВА-СЭЩ-В-АН25Е с  $I_{н.р.} = 2500 \text{ A}$ , для УКЛ-0.4-450-3 выбираем автоматический выключатель ВА-СЭЩ-В-АН16Е с  $I_{н.р.} = 1600 \text{ A}$ , для УКЛ-0.4-300-150 выбираем автоматический выключатель ВА-СЭЩ-В-АН16Е с  $I_{н.р.} = 1600 \text{ A}$ .

## 8.2 Выбор трансформаторов тока и напряжения

$S_H$  трансформатора напряжения должна быть больше либо равна суммарной мощности, подключенных приборов:

$$S_H \geq S_2 = \sqrt{P_\Sigma^2 + Q_\Sigma^2}, \quad (8.12)$$

Выбираем для каждой секции РП трансформаторы напряжения типа НАМИ-10 класса точности 0.5 с номинальной мощностью 120 ВА, подключенные через предохранители ПКТ-10.

Вторичная нагрузка ТН состоит из вольтметра, счётчиков активной и реактивной энергии с суммарной мощностью  $P_{np} = 12 \text{ Вт}$  и  $Q_{np} = 38,7 \text{ вар}$ .

$$S_2 = \sqrt{12^2 + 38,7^2} = 40,52 \text{ ВА}.$$

Условие  $120 \text{ ВА} \geq 40,52 \text{ ВА}$  выполняется, следовательно ТН выбран верно.

Трансформаторы тока выбираем по номинальной мощности вторичной обмотки.

$$S_2 = S_{np.б} + I_2^2 \cdot (r_{np} + r_{кон}) \quad (8.13)$$

Принимаем  $r_{кон} = 0,1 \text{ Ом}$ ,  $I_2 = 5 \text{ А}$ .

$$r_{np} = \frac{S_2 - S_{np.б} - I_2^2 \cdot r_{кон}}{I_2^2}. \quad (8.14)$$

Проверка по электродинамической устойчивости

$$K_{дин} \geq \sqrt{2} \cdot I_{ном1} \geq i_y. \quad (8.15)$$

Проверка по термической устойчивости

$$K_t \geq I_\infty \sqrt{t_{cp}} / I_{ном}. \quad (8.16)$$

Вторичной нагрузкой трансформатора тока на РП являются амперметр, счетчик активной и реактивной энергии с максимальной нагрузкой на фазу 5 ВА.

Выбираем трансформаторы тока типа ТОЛ-10  $S_n = 10 \text{ ВА}$ .

$$r_{np} = \frac{10 - 5 - 5^2 \cdot 0,1}{5^2} = 0,1 \text{ Ом}; \quad I_{н1} = 800 \text{ А}; \quad I_{н2} = 5 \text{ А}.$$

Для трансформаторов тока типа ТОЛ-10  $i_{дн} = 51 \text{ кА}$ .

Условие  $i_{дн} \geq i_y$  выполняется, так как:

$$100 > 14,47 \text{ А}.$$

Условие  $I_{ном} \geq I_{уст}$  выполняется, т.к.:

$$800 > 620,30 \text{ А}.$$

Проверим выбранный трансформатор тока по условию  $I_t \geq I_\infty \cdot \sqrt{t_{cp}}$ :

$$31,5 \text{ кА} \geq 12,6 \cdot \sqrt{1,61} = 15,98 \text{ кА}.$$

Выбранный трансформатор тока проходит по условиям электродинамической и термической стойкости.

Расчётный ток для выбора трансформаторов тока в цепях низшего напряжения цеховых трансформаторов находим по формуле:



$$I_p = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 1549.34 \text{ A},$$

$$I_p = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 2430.99 \text{ A}$$

Трансформаторы тока выбираем по условию:

$$1.2 \cdot I_n \geq I_{p.\max}, \quad (8.17)$$

Согласно условиям для трансформаторов  $S_{н.т} = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$  ( $U_n \geq 0.38 \text{ В}$ ,  $I_n \geq 1549,34 \text{ А}$ ,  $1 \cdot I_n \geq 2 \text{ А}$ ) выбираем трансформаторы тока ТНШЛ-0.66-2000/5 с  $I_{н.тп} = 2000 \text{ А}$ , для трансформаторов  $S_{н.т} = 1600 \text{ кВА}$  выбираем трансформаторы тока ТНШЛ-0.66-2500/5 с  $I_{н.тп} = 2500 \text{ А}$ .

## Заключение

При выполнении бакалаврской работы были определены расчетные электрические нагрузки от силовых электроприемников и от системы освещения. Итоговая расчётная нагрузка предприятия составила 19 МВА. Выбрана схема внутрицеховой электрической сети, выбраны проводники и автоматические выключатели. Для рабочего освещения внутри цеха применяются светодиодные светильники НВ 228 LED, а во вспомогательных помещениях светильники ВАТ 236 с люминесцентными лампами. Выполнен выбор силовых трансформаторов для установки внутри цехов и произведен расчет компенсирующих установок. Построена картограмма и определен центр электрических нагрузок предприятия. Выбрана схема внутреннего электроснабжения предприятия и произведен расчет распределительной сети. Определены значения токов КЗ и проверено на стойкость выбранное электрооборудование.

## Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы 6 и 7 издания с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 февраля 2015 г. - 7-е изд., Литтерра, 2015.
2. Сивков, А.А. Основы электроснабжения. Учебное пособие / А.А. Сивков, Д.Ю. Герасимов, А.С. Сайгаш – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012.
3. Вахнина, В.В. Системы электроснабжения. Электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко - Тольятти: ТГУ, 2015.
4. Ушаков, В.Я. Современные проблемы электроэнергетики: учеб. пособие / В.Я. Ушаков ; Томский политехнический университет. - Томск : ТПУ, 2014.
5. Указания по расчету электрических нагрузок. ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» №358–90 от 1 августа 1993 г.
6. Гвоздев, С.М. Энергоэффективное электрическое освещение. Учебное пособие / С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, Т.К. Романова – М.: Издательский дом МЭИ, 2013.
7. Юндин, М.А. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению: учеб. пособие / М.А. Юндин, А.М. Королев. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Санкт-Петербург: Лань, 2011.
8. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промпредприятий и установок. Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин – Москва: Форум, 2015.
9. Электроснабжение: методические указания к курсовой работе для студентов очной и очно-заочной форм обучения / сост. Т. В. Синюкова. - Липецк: ЛГТУ, 2013.
10. Стрельников, Н.А. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие / Н.А. Стрельников. - Новосибирск : НГТУ, 2013.
11. Шлейников, В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учеб. пособие / В.Б. Шлейников, Т.В.

Сафонова. - Оренбург : ОГУ, 2014.

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

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

14. Шукуров, И.С. Инженерные сети: учебник / И.С. Шукуров, И.Г. Дьяков, К.И. Микири. - Москва : МГСУ : ЭБС АСВ, 2016.

15. Ушаков, В.Я. Современные проблемы электроэнергетики: учеб. пособие / В.Я. Ушаков ; Томский политехнический университет. - Томск : ТПУ, 2014.

16. Ковалев, И.Н. Электроэнергетические системы и сети: учебник / И. Н. Ковалев. - Москва : Учеб.-метод. центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015.

17. Титков, В.В. Перенапряжения и молниезащита: учеб. пособие / В.В. Титков, Ф.Х. Халилов. - Изд. 2-е, стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2016.

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

19. Short, T. Electric power distribution handbook / T. Short. – Florida: CRC Press LLC, 2014.

20. Meier, A. von. Electric power systems: a conceptual introduction / A. von Meier. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2016.

21. Hickey, R.B. Electrical Engineer's Portable Handbook / R.B. Hickey, B. Robert. – USA: McGraw-Hill Companies, 2012.

22. Attia, J.O. Electronics and Circuit Analysis using MATLAB / J.O. Attia. – Boca Raton: CRC Press LLC, 2009.