

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение предприятия по выпуску деревянных изделий

Студент

А. А. Урих

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д. Л. Спиридонов

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

Тольятти 2022

Аннотация

Пояснительная записка содержит 63 страницы, графическая часть выполнена в виде презентации, 20 источников.

Ключевые слова: электроснабжение, нагрузка, реактивная мощность, трансформатор, оборудование.

Объектом исследования является предприятие по выпуску деревянных изделий.

Цель работы – разработка проекта системы электроснабжения предприятия по выпуску деревянных изделий.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- расчет силовых нагрузок предприятия и нагрузки системы освещения;
- расчет системы освещения;
- расчет установок компенсации реактивной мощности;
- выбор коммутационного оборудования;
- выбор кабельных линий;
- выбор аппаратов релейной защиты.

В результате выполнения работы приведена характеристика предприятия, расчет нагрузок освещения и силовых электрических нагрузок, выбор силовых трансформаторов в цеховой трансформаторной подстанции и устройств компенсации реактивной мощности, расчет токов короткого замыкания, выбор и проверка оборудования цеховой трансформаторной подстанции, а также расчет релейной защиты.

Содержание

Введение.....	4
1 Общая часть	5
1.1 Характеристика системы электроснабжения предприятия	5
1.2 Характеристика производства	7
2 Разработка мероприятий по повышению энергоэффективности.....	13
2.1 Расчет электрических нагрузок	13
2.2 Расчет системы освещения.....	17
2.3 Расчет общей нагрузки цеха.....	23
2.4 Компенсация реактивной мощности.....	24
2.5 Выбор силовых трансформаторов.....	26
2.6 Выбор кабельной линии 6 кВ.....	28
2.7 Выбор распределительной схемы электроснабжения и кабельных линий 0,4 кВ	30
2.8 Расчет токов КЗ	37
2.9 Выбор оборудования ТП-10/0,4 кВ	45
2.10 Выбор защитного оборудования распределительной сети.....	51
3 Релейная защита	54
Заключение	57
Список используемых источников.....	60

Введение

В настоящее время, электроэнергия имеет очень важную роль на промышленном предприятии. Основная задача при проектировании системы электроснабжения – обеспечить бесперебойную подачу электроэнергии. В данном случае, большую роль играет резервирование потребителей, так как, выход из строя одного из источников питания может привести серьезным проблемам.

Основой системы электроснабжения промышленного предприятия являются электроустановки, которые обеспечивают электроэнергией оборудование предприятия.

Объектом исследования является предприятие по выпуску деревянных изделий.

Предметом исследования является система электроснабжения предприятия по выпуску деревянных изделий.

Цель работы – разработка проекта системы электроснабжения предприятия по выпуску деревянных изделий.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- расчет силовых нагрузок предприятия и нагрузки системы освещения;
- расчет системы освещения;
- расчет установок компенсации реактивной мощности;
- выбор коммутационного оборудования;
- выбор кабельных линий;
- выбор аппаратов релейной защиты.

В результате выполнения работы приведена характеристика предприятия, расчет нагрузок освещения и силовых электрических нагрузок, выбор силовых трансформаторов в цеховой трансформаторной подстанции и устройств компенсации реактивной мощности, расчет токов короткого замыкания, выбор и проверка оборудования цеховой трансформаторной подстанции, а также расчет релейной защиты.

1 Общая часть

1.1 Характеристика системы электроснабжения предприятия

Объектом исследования является предприятие по выпуску деревянных изделий.

Предприятие представляет собой производственное здание, включающее в себя производственные, служебные и бытовые помещения.

Производственное здание получает электроснабжение от ПС 110/6 кВ, расположенной на расстоянии 0,8 км до ТП 6/0,4 кВ.

Размеры здания: А x В x Н = 108 x 72 x 12.

В таблице 1 приведен перечень электрооборудования предприятия.

План предприятия по выпуску деревянных изделий с расстановкой технологического оборудования приведен в данной работе на рисунке 1.

Таблица 1 – Перечень электрооборудования цеха

Номер по плану	Наименование ЭП	п, шт	Номинальная мощность, кВт	
			одного ЭП, кВт	Общая, кВт
Компрессорная				
1, 2	Компрессор винтовой	2	30	60
-	Итого по участку	2	-	60
Участок обработки				
3	Гидравлическая горизонтально-гибочная машина с ЧПУ	1	5,5	5,5
4	Пила ленточная	1	3	3
5, 6	Пробивной станок	2	0,63	1,26
7	Станок настольно-сверлильный	1	0,55	0,55
8	Станок фуговально-рейсмусовый	1	1,8	1,8
-	Итого по участку	6	-	12,11
Участок прессовый				
9	Ножницы гидравлические	1	7,5	7,5
10, 12, 13	Пила ленточная	3	9	27
11	Пила дисковая	1	12,5	12,5
14, 16, 17	Станок цепнодолбежный	3	27	81
15	Станок заточной	1	4,8	4,8

Продолжение таблицы 1

Номер по плану	Наименование ЭП	п, шт	Номинальная мощность, кВт	
			одного ЭП, кВт	Общая, кВт
34	Кран грузоподъемностью 2 тонны	1	4,1	4,1
	Итого по участку	10	-	136,9
Участок слесарно-сварочный				
18	Станок токарный	1	6,77	6,77
19	Станок фрезерный	1	9	9
20, 22	Станок сверлильный	2	0,55	1,1
21	Станок точильно-шлифовальный	1	2	2
23, 24	Станок распилочный	2	3	6
25	Ленточная пила	1	3	3
26, 27	Станок распилочный бесщеточный	2	3	6
28, 29, 31	Станок фрезерно-гравировальный	3	3	9
30	Станок строгальный	1	5	5
-	Итого по участку	14	-	47,9
Участок изготовления маркировочной продукции				
32	Лазерный станок	1	0,5	0,5
33	Линия порошковой покраски	1	55	55
-	Итого по участку	2	-	55,5
Сборочный цех				
37	Кран грузоподъемностью 1 тонна	1	2,6	2,6
36	Кран грузоподъемностью 2 тонны	1	4,1	4,1
35	Кран грузоподъемностью 3,2 тонны	1	6	6
38, 39	Кран грузоподъемностью 10 тонны	2	11	22
-	Итого по сборочному цеху	5	-	34,7
Всего:		39	-	347,1

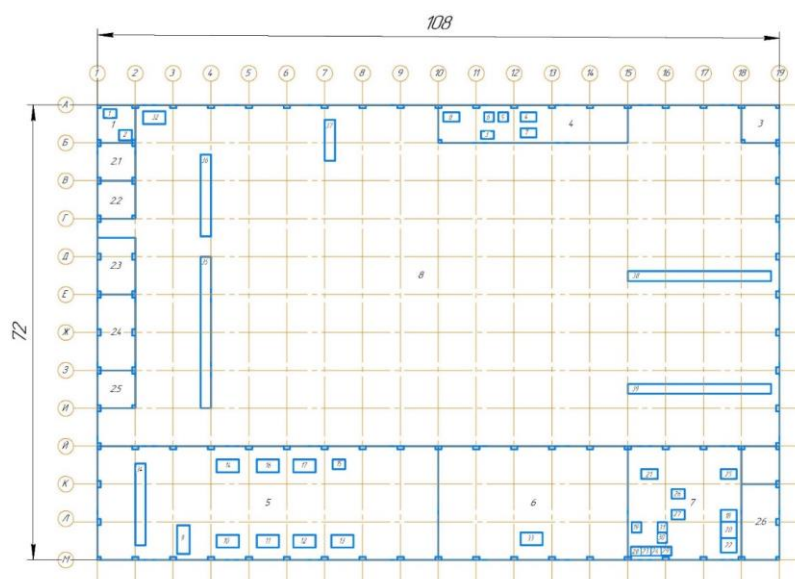


Рисунок 1 – План предприятия по выпуску деревянных изделий

Основными потребителями предприятия по выпуску деревянных изделий являются электрические двигатели станков (сверлильных, токарных и прочих), кранов.

1.2 Характеристика производства

Согласно [7], все помещения можно разделить на группы:

- сухие;
- влажные;
- особо сырые;
- жаркие;
- пыльные;
- с химически активной средой;
- пожаро- и взрывоопасными веществами.

К пожароопасным зонам относятся помещения, в которых находятся горючие или сгораемые материалы.

Пожароопасные зоны разделяются на классы: П-I, П-II, П-IIa и П-III [3].

К пожароопасной зоне П-I относятся помещения, в которых находятся жидкости с температурой вспышки $61\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше.

К зоне П-II относят помещения, в которых выделяются волокна или горючая пыль с пределом воспламенения к объему воздуха 65 г/м^3 и выше.

К пожароопасной зоне П-IIa относят помещения с твердыми горючими веществами.

Взрывоопасные зоны, в свою очередь, также делятся на классы: В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIa.

К взрывоопасной зоне В-I относят помещения, в которых находятся горючие газы или легковоспламеняющиеся жидкости, образующие взрывоопасные смеси при воздействии кислорода при таких рабочих моментах, как: хранении или переливании легковоспламеняющихся

жидкостей, находящихся в открытых емкостях; загрузке или разгрузке технологических аппаратов и т.д.

К взрывоопасной зоне В-Iа относят помещения, в которых взрывоопасные смеси горючих газов или паров легко воспламеняющихся жидкостей с воздухом образуются в результате аварии или неисправностей.

К взрывоопасной зоне В-Iб относят помещения, в которых взрывоопасные смеси горючих газов или паров легко воспламеняющихся жидкостей с воздухом образуются в результате аварии или неисправностей, и к тому же, отличаются определенными особенностями (горючие газы в этих зонах обладают более резким запахом при предельно допустимых концентрациях по ГОСТ 12.1.005-76 и высоким нижним концентрационным пределом воспламенения - 15 %).

К взрывоопасной зоне В-Iг относят пространство вблизи наружных технологических установок, содержащее легко воспламеняющиеся жидкости или горючие газы, эстакад для слива или налива легко воспламеняющихся жидкостей, надземных или подземных резервуаров с легко воспламеняющимися жидкостями.

К взрывоопасной зоне В-II относят помещения, в которых горючие пыли или волокна, переходящие во взвешенное состояние, способны образовывать взрывоопасные смеси с воздухом при нормальном режиме работы (к примеру, при разгрузке технологических аппаратов).

К взрывоопасной зоне В-IIа относят помещения, в которых горючие пыли или волокна, переходящие во взвешенное состояние, способны образовывать взрывоопасные смеси с воздухом только в результате аварий или неисправностей.

Классификация предприятия по выпуску деревянных изделий по взрыво-, пожаро- и электробезопасности представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Классификация ЦОКД по взрыво-, пожаро- и электробезопасности

Наименование помещений	Категория			Условия окружающей среды
	Взрыво опасности	Пожаро опасности	Электро безопасности	
Компрессорная	В-ПА	П-ПА	ПО	нормальные
Бытовые помещения	-	-	-	нормальные
Трансформаторная подстанция	В-І	П-І	ПО	Нормальные
Участок обработки	В-І	П-І	ПО	Нормальные
Участок первичной обработки	В-І	П-І	ПО	Нормальные
Участок изготовления маркорочной продукции	В-І	П-І	ПО	Нормальные
Участок слесарный	В-І	П-І	ПО	Нормальные
Сборочный цех	В-І	П-І	ПО	Нормальные

В плане развития системы электроснабжения промышленного предприятия, главным вопросом является – обеспечение надежности электроснабжения объекта в соответствии с установленной категорией.

На рисунке 2 приведен перечень категорий надежности электроснабжения.



Рисунок 2 – Категории надежности электроснабжения

Потребитель относится к особой категории в том случае, если перерыв в электроснабжении этого потребителя недопустим. Электроснабжение таких потребителей осуществляется от трех независимых источников (Рисунок 3). Причем, переключение между источниками электроснабжения происходит автоматически.



Рисунок 3 – Особая категория надежности электроснабжения

Потребитель относится к первой категории надежности в том случае, если перерыв в электроснабжении этого потребителя может нанести значительный материальный ущерб или повлечь за собой опасность для жизни людей.

Электроснабжение таких потребителей должно осуществляться от двух независимых источников (рисунок 4).

Причем, переключение между источниками электроснабжения происходит автоматически.

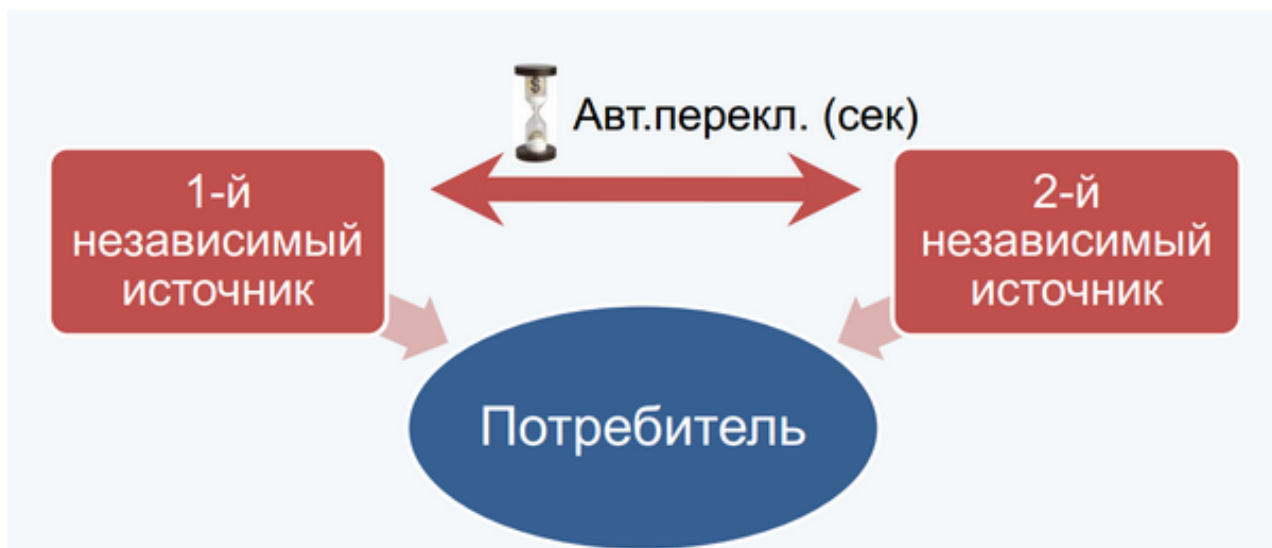


Рисунок 4 – Первая категория надежности электроснабжения

Потребитель относится ко второй категории надежности в том случае, если перерыв в электроснабжении этого потребителя может привести к простоям людей, промышленного транспорта, механизмов и недоотпуску продукции. Электроснабжение таких потребителей должно осуществляться от двух независимых источников (рисунок 5).

Переключение между источниками питания производится в ручном режиме электротехническим персоналом (местный оперативный персонал или выездная бригада энергоснабжающей (сетевой) организации).

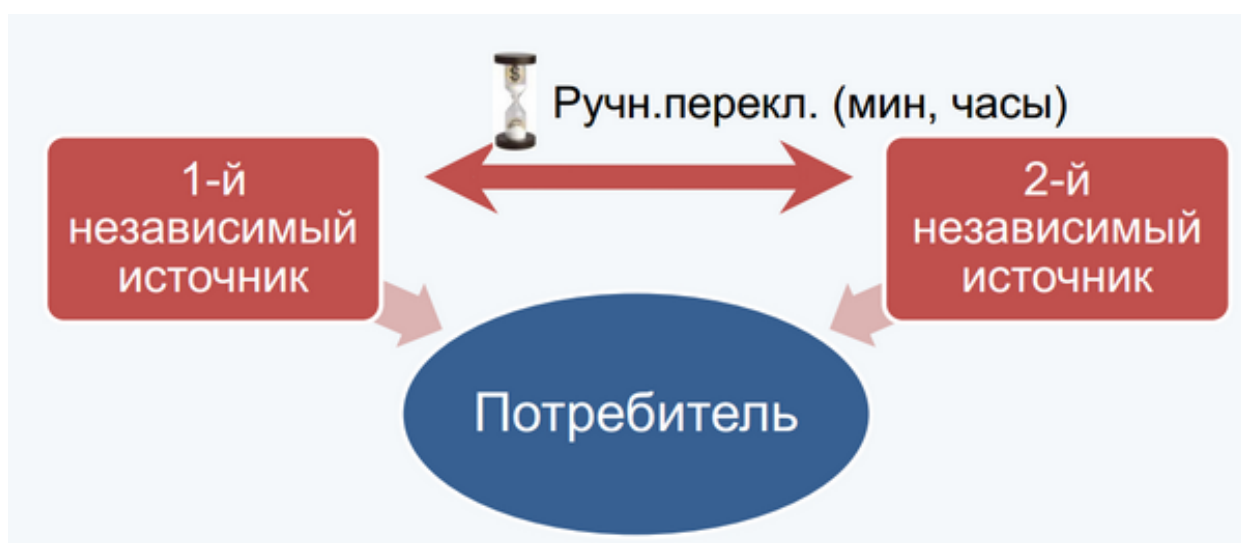


Рисунок 5 – Вторая категория надежности электроснабжения

К третьей категории надежности относят потребителей, не входящих во вторую, первую или особую категории надежности. Энергоснабжение таких потребителей осуществляется от одного источника питания (рисунок 6).

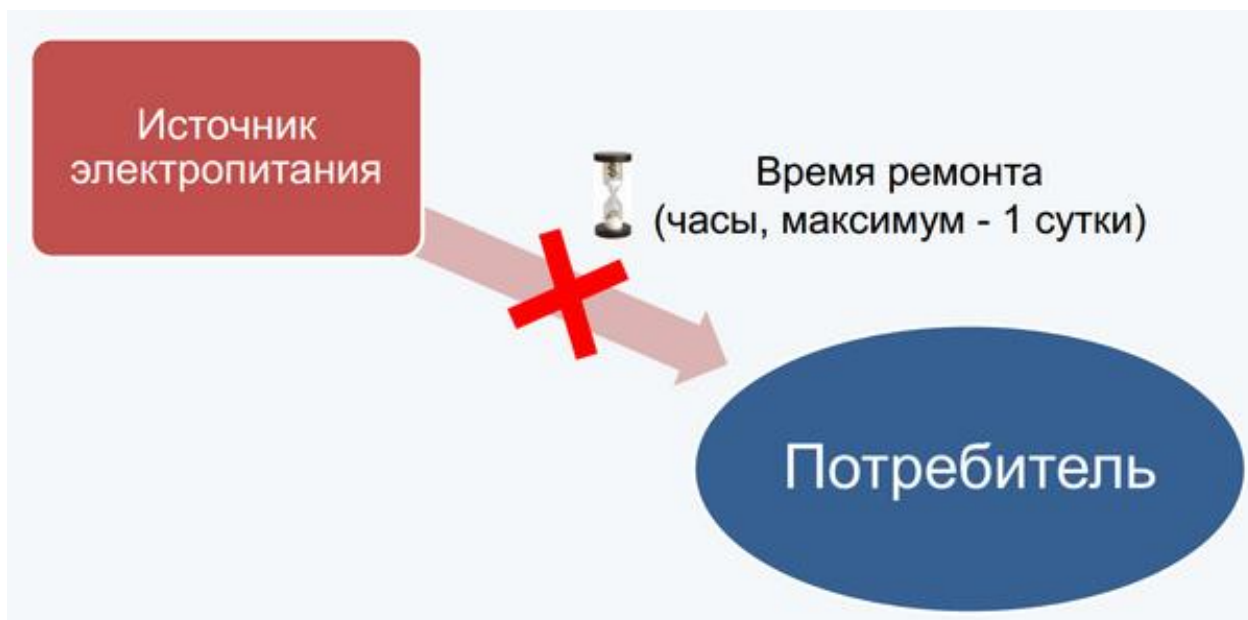


Рисунок 6 – Третья категория надежности электроснабжения

Цех относится ко второй категории надежности электроснабжения. Таким образом, требуется два силовых трансформатора для обеспечения требуемого уровня надежности.

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения раздела работы сделаны следующие выводы:

- установлено, что объектом исследования является предприятие по выпуску деревянных изделий. Предприятие представляет собой производственное здание, включающее в себя производственные, служебные и бытовые помещения.

- определено, что цех относится ко второй категории надежности электроснабжения. Таким образом, требуется два силовых трансформатора для обеспечения требуемого уровня надежности.

Решение поставленных задач осуществляется далее.

2 Разработка мероприятий по повышению энергоэффективности

2.1 Расчет электрических нагрузок

Расчет силовых нагрузок будет выполнен по коэффициенту расчётной нагрузки согласно [19].

Технологическое оборудование разделено на 7 распределительных пунктов.

В таблице 3 приведены исходные данные – номинальная мощность оборудования, а также коэффициенты использования и мощности.

Таблица 3 – Исходные данные для расчета электрических нагрузок

Наименование ЭП	n, шт	Номинальная установленная мощность, кВт		k _и	cosφ
		одного ЭП, кВт	Общая, кВт		
РП-1					
Компрессор винтовой	2	30	60	0,6	0,8
Лазерный станок	1	0,5	0,5	0,17	0,65
Итого по РП:	3	-	60,5	-	-
РП-2					
Гидравлическая горизонтально-гибочная машина	1	5,5	5,5	0,17	0,65
Пила ленточная	1	3	3	0,17	0,65
Пробивной станок	2	0,63	1,26	0,17	0,65
Настольно-сверлильный станок	1	0,55	0,55	0,14	0,5
Станок фуговально-рейсмусовый	1	1,8	1,8	0,17	0,65
Итого по РП:	6	-	12,11	-	-
РП-3					
Ножницы гидравлические	1	7,5	7,5	0,14	0,5
Пила ленточная	3	9	27	0,17	0,65
Пила дисковая	1	12,5	12,5	0,17	0,65
Станок цепнодолбежный	3	27	81	0,17	0,65
Заточной станок	1	4,8	4,8	0,17	0,65
Кран грузоподъемностью 2 тонны	1	4,1	4,1	0,1	0,5
Итого по РП:	10	-	136,9	-	-
РП-4					
Токарный станок	1	6,77	6,77	0,17	0,65
Фрезерный станок	1	9	9	0,17	0,65
Сверлильный станок	2	0,55	1,1	0,14	0,5

Продолжение таблицы 3

Наименование ЭП	n, шт	Номинальная установленная мощность, кВт		k _и	cosφ
		одного ЭП, кВт	Общая, кВт		
Точильно-шлифовальный станок	1	2	2	0,14	0,5
Станок распилочный бесщеточный	2	3	6	0,2	0,6
Ленточная пила	1	3	3	0,2	0,6
Станок распилочный	2	3	6	0,2	0,6
Станок фрезерно-гравировальный	3	3	9	0,2	0,6
Станок строгальный	1	5	5	0,2	0,6
Итого по РП:	14	-	47,9	-	-
РП-5					
Линия порошковой покраски	1	55	55	0,4	0,6
Итого по РП:	1	-	55	-	-
РП-6					
Кран грузоподъемностью 1 тонна	1	2,6	2,6	0,1	0,5
Кран грузоподъемностью 2 тонны	1	4,1	4,1	0,1	0,5
Кран грузоподъемностью 3,2 тонны	1	6	6	0,1	0,5
Итого по РП:	3	-	12,7	-	-
РП-7					
Кран грузоподъемностью 10 тонны	2	11	22	0,1	0,5
Итого по РП:	2	-	22	0,1	0,5
Всего по предприятию:	39	-	347,1	-	-

Далее будут проведены расчеты для РП-2.

Групповой коэффициент использования для РП-2 составит [16, 17]:

$$k_{\Sigma И} = \frac{\sum k_{И} \cdot P_{H}}{\sum P_{H}}. \quad (1)$$

$$k_{\Sigma И} = \frac{5,5 \cdot 0,17 + 3 \cdot 0,17 + 0,63 \cdot 0,17 + 0,55 \cdot 0,14 + 1,8 \cdot 0,17}{12,11} = 0,17 \approx 0,2.$$

Эффективное число электроприемников определяется формулой [16, 17]:

$$n_{э} = \frac{\left(\sum_1^n P_H \right)^2}{\sum_1^n P_H^2}. \quad (2)$$

$$n_3 = \frac{147^2}{30,3 + 9,0 + 1,6 + 0,3 + 3,2} = 3.$$

В [4] при $n_3=3$ и $k_{II}=0,2$ коэффициент расчётной нагрузки K_P равен 2,3.

Таким образом, расчетная активная мощность составит [16, 17]:

$$P_P = K_P \cdot k_{II} \cdot P_H. \quad (3)$$

$$P_P = 2,3 \cdot 0,17 \cdot 12,11 = 4,7 \text{ кВА.}$$

Расчетная реактивная мощность составит [16, 17]:

$$Q_P = 1,1 \cdot k_{II} \cdot P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (4)$$

$$Q_P = 1,1 \cdot 0,17 \cdot 12,11 \cdot 1,19 = 2,7 \text{ квар.}$$

Расчетная полная мощность составит [16, 17]:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}. \quad (5)$$

$$S_P = \sqrt{4,7^2 + 2,7^2} = 5,4 \text{ кВт}$$

Сила тока определяется формулой [16, 17]:

$$I_M = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_{II}}. \quad (6)$$

$$I_M = \frac{5,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 8,2 \text{ А.}$$

Для остальных РП расчет производится аналогично (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты расчета силовой нагрузки завода

ЭП	n, шт	P, кВт		k _и	cos	K _и P _н	K _и P _н tg φ	np2	nЭ	Kp	P, кВт	Q, квар	S, кВА	I, А
		P, кВт	∑P, кВт											
РП-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Компрессор винтовой	2	30	60	0,6	0,8	36,0	27,0	-	-	-	-	-	-	-
Лазерный станок	1	0,5	0,5	0,17	0,65	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-
Итого по РП:	3	-	60,5	0,6	0,80	36,1	27,1	3660	1	1,3	46,9	29,8	55,6	84,5
РП-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Гидравлическая горизонтально- гибочная машина	1	5,5	5,5	0,17	0,65	0,9	1,1	-	-	-	-	-	-	-
Пила ленточная	1	3	3	0,17	0,65	0,5	0,6	-	-	-	-	-	-	-
Пробивной станок	2	0,63	1,26	0,17	0,65	0,2	0,3	-	-	-	-	-	-	-
Настольно- сверлильный станок	1	0,55	0,55	0,14	0,5	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-
Станок фуговально- рейсмусовый	1	1,8	1,8	0,17	0,65	0,3	0,4	-	-	-	-	-	-	-
Итого по РП:	6	-	12,11	0,17	0,64	2,0	2,4	147	3	2,3	4,7	2,7	5,4	8,2
РП-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ножницы гидравлические	1	7,5	7,5	0,14	0,5	1,1	1,8	-	-	-	-	-	-	-
Пила ленточная	3	9	27	0,17	0,65	4,6	5,4	-	-	-	-	-	-	-
Пила дисковая	1	12,5	12,5	0,17	0,65	2,1	2,5	-	-	-	-	-	-	-
Станок цепнодолбежный	3	27	81	0,17	0,65	13,8	16,1	-	-	-	-	-	-	-
Заточной станок	1	4,8	4,8	0,17	0,65	0,8	1,0	-	-	-	-	-	-	-
Кран груз. 2 тонны	1	4,1	4,1	0,1	0,5	0,4	0,7	-	-	-	-	-	-	-
Итого по РП:	10	-	136,9	0,2	0,64	22,8	27,4	18742	2	3,6	81,9	30,2	87,3	132,8
РП-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Токарный станок	1	6,77	6,77	0,17	0,65	1,2	1,3	-	-	-	-	-	-	-
Фрезерный станок	1	9	9	0,17	0,65	1,5	1,8	-	-	-	-	-	-	-
Сверлильный станок	2	0,55	1,1	0,14	0,5	0,2	0,3	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 4

ЭП	n, шт	P, кВт		k _и	cos	K _и P _н	K _и P _н tg φ	np2	nЭ	Kp	P, кВт	Q, квар	S, кВА	I, А
		P, кВт	∑P, кВт											
Станок распилочный	2	3	6	0,2	0,6	1,2	1,6	-	-	-	-	-	-	-
Точильно- шлифовальн ый станок	1	2	2	0,14	0,5	0,3	0,5	-	-	-	-	-	-	-
Станок распилочный бесщеточный	2	3	6	0,2	0,6	1,2	1,6	-	-	-	-	-	-	-
Ленточная пила	1	3	3	0,2	0,6	0,6	0,8	-	-	-	-	-	-	-
Станок фрезерно- гравировальн ый	3	3	9	0,2	0,6	1,8	2,4	-	-	-	-	-	-	-
Станок строгальный	1	5	5	0,2	0,6	1,0	1,3	-	-	-	-	-	-	-
Итого по РП:	14		47,9	0,2	0,61	8,9	11,6	2292	7	1,6	14,3	12,8	19,2	29,1
РП-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Линия порошковой покраски	1	55	55	0,4	0,6	22,0	29,3	-	-	-	-	-	-	-
Итого по РП:	1	-	55	0,4	0,60	22	29,3	3025	1	2	44,0	32,3	54,6	83,0
РП-6		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Кран груз. 1 тонна	1	2,6	2,6	0,1	0,5	0,3	0,5	-	-	-	-	-	-	-
Кран груз. 2 тонны	1	4,1	4,1	0,1	0,5	0,4	0,7	-	-	-	-	-	-	-
Кран груз. 3,2 тонны	1	6	6	0,1	0,5	0,6	1,0	-	-	-	-	-	-	-
Итого по РП:	3	-	12,7	0,1	0,50	1,3	2,2	161	3	4	5,1	2,4	5,6	8,6
РП-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Кран груз. 10 тонны	2	11	22	0,1	0,5	2,2	3,8	-	-	-	-	-	-	-
Итого по РП:	2	-	22	0,1	0,50	2,2	3,8	484	1	8	17,6	4,2	18,1	27,5
Всего:	39	-	347,1	0,3	0,87	95,3	103,9	-	-	-	214, 5	114,3	245,7	373,8

Все результаты учитываются в работе далее.

2.2 Расчет системы освещения

Расчётная высота подвеса светильников [18]:

$$h_p = h - (h_c + h_{pn}), \quad (7)$$

где $h = 12$ – высота помещения;

$h_c = 0,8$ – расстояние от светильников до перекрытия;

$h_{pn} = 1,0$ – высота расчетной поверхности над полом.

$$h_p = 12 - (0,8 + 1,0) = 10,2 \text{ м.}$$

Далее будут приведены расчеты системы освещения для участка обработки. Для определения коэффициента использования необходимо знать индекс помещения; для помещений, имеющих большую длину индекс, можно рассчитать по следующей формуле [18]:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)}, \quad (8)$$

где B – ширина помещения;

A – длина помещения.

$$i = \frac{30 \cdot 6}{10,2 \cdot (30 + 6)} = 0,5.$$

Принимаем коэффициент отражения $R_n \% = 70$, $R_c \% = 50$, $R_p \% = 30$. По индексу помещения и коэффициента отражения принимаем $\eta = 0,36$.

С целью энергосбережения для рабочего выбраны светодиодные светильники ДИУС-240, световой поток $\Phi_{л} = 34700$ лм, коэффициент мощности 0,98, мощностью 270 Вт. Маркировка степени защиты светильников IP67. Определяем требуемое количество светильников [18]:

$$n = \frac{E \cdot k_3 \cdot S \cdot z}{\Phi \cdot \eta}, \quad (9)$$

где E – нормируемая освещённость, 300 Лк;

S - площадь освещения, 180 м²;

k – коэффициент запаса;

Z – поправочный коэффициент, 1,15;

Φ – световой поток лампы, лм;

η - коэффициент использования.

$$n = \frac{300 \cdot 1,3 \cdot 180 \cdot 1,15}{34700 \cdot 0,36} = 7,3 \text{ шт.}$$

Для освещения производственных помещений принимаем 8 светильников. Средняя освещённость, в таком случае, составит:

$$E = \frac{\Phi \cdot \eta \cdot n}{k_3 \cdot S \cdot z} = \frac{34700 \cdot 0,36 \cdot 8}{1,3 \cdot 180 \cdot 1,15} = 330,1 \text{ лк.}$$

Общая установленная мощность рабочего освещения участка обработки:

$$P_{\text{осв.произв.}} = n \cdot P_{\text{л}}, \quad (10)$$

где $P_{\text{л}}$ – мощность одной лампы, кВт.

$$P_{\text{осв.раб}} = 8 \cdot 0,27 = 2,16 \text{ кВт.}$$

Аварийное освещение выполняется светодиодными светильниками и должно обеспечивать освещённость 10 % от освещённости, создаваемой рабочим освещением. Для аварийного освещения будут использованы светодиодные светильники ДИУС-80 со световым потоком 11600 лм и мощностью 90 Вт, коэффициент мощности 0,98. Маркировка степени защиты

светильников IP67. При условии: $E_{AB} = 20$ лк; коэффициент запаса $k_3 = 1,3$ [13]; коэффициент использования $\eta = 0,32$, требуемое количество светильников аварийного освещения составит:

$$n = \frac{30 \cdot 1,3 \cdot 180 \cdot 1,15}{11600 \cdot 0,36} = 2,2 \text{ шт.}$$

Принимается 3 светильника.

Средняя освещенность, в таком случае, составит:

$$E = \frac{11600 \cdot 0,36 \cdot 3}{1,3 \cdot 180 \cdot 1,15} = 41,4 \text{ лк.}$$

Общая установленная мощность аварийного освещения участка обработки:

$$P_{осв.раб} = 3 \cdot 0,09 = 0,27 \text{ кВт.}$$

Для остальных помещений расчет производится аналогично. Результаты расчета системы освещения приведены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5 – Результаты расчета нагрузки рабочего освещения

Помещение	A, м	B, м	i	ки	n	N	Светильник	Фл, лм	Рл, Вт	Еср.факт, лк	Росв, Вт
Компрессорная	6	6	0,5	0,32	1,5	2	ДИУС-240	34700	0,27	412,6	0,54
Бытовые помещения	6	6	0,3	0,32	1,5	17	ДИУС-240	34700	0,27	369,2	4,59
ТП	6	6	0,3	0,32	1,5	2	ДИУС-240	34700	0,27	412,6	0,54
Участок обработки	6	30	0,4	0,32	7,3	8	ДИУС-240	34700	0,27	330,1	2,16
Участок обработки	54	18	1,1	0,45	27,9	28	ДИУС-240	34700	0,27	300,9	7,56
Участок изготовления продукции	30	18	0,9	0,45	15,5	15	ДИУС-240	34700	0,27	290,1	4,05
Участок слесарный	18	18	0,8	0,39	10,7	12	ДИУС-240	34700	0,27	335,3	3,24
Сборочный цех	48	54	2,1	0,62	54,0	115	ДИУС-240	34700	0,27	310,6	31,05
Итого:	-	-	-	-	-	199	-	-	-	-	53,73

Таблица 6 – Результаты расчета нагрузки аварийного освещения

Помещение	A, м	B, м	i	Kи	n	N	Светильник	Фл, лм	Pл, Вт	Eср.факт, лк	Pосв, Вт
Компрессорная	6	6	0,3	0,32	0,4	1	ДИУС-80	11600	0,09	69,0	0,09
Бытовые помещения	6	6	0,3	0,32	0,4	7	ДИУС-80	11600	0,09	50,8	0,63
Трансформаторная подстанция	6	6	0,3	0,32	0,4	1	ДИУС-80	11600	0,09	69,0	0,09
Участок обработки	6	30	0,4	0,32	2,2	3	ДИУС-80	11600	0,09	41,4	0,27
Участок первичной обработки	54	18	1,1	0,45	8,4	9	ДИУС-80	11600	0,09	32,3	0,81
Участок изготовления маркорочной продукции	30	18	0,9	0,45	4,6	5	ДИУС-80	11600	0,09	32,3	0,45
Участок слесарный	18	18	0,8	0,39	3,2	4	ДИУС-80	11600	0,09	37,4	0,36
Сборочный цех	48	54	2,1	0,62	16,2	37	ДИУС-80	11600	0,09	33,4	3,33
Итого:	-	-	-	-	-	67	-	-	-	-	6,03

Схема расстановки светодиодных светильников аварийного и рабочего освещения приведен на рисунке 7.

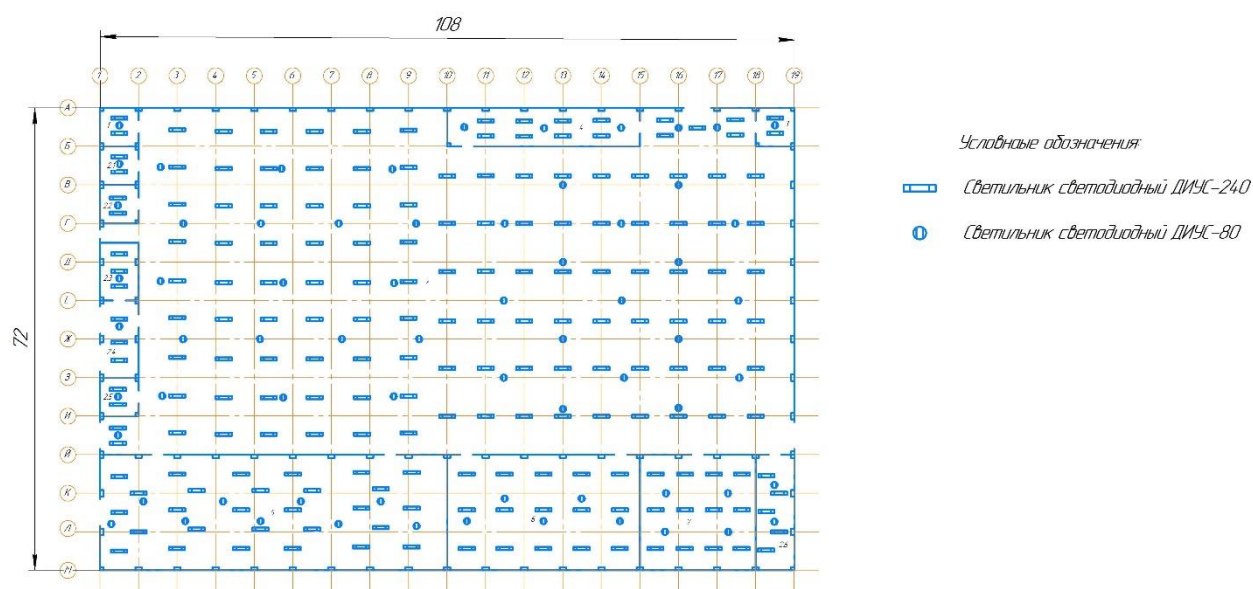


Рисунок 7 – Схема расстановки светодиодных светильников аварийного и рабочего освещения

В связи с большой площадью здания, целесообразно всю нагрузку системы освещения разделить на несколько щитов освещения. Так,

помещения 5, 6, 7 и 2.5 будут объединены в один щит освещения ЩО-1. ЩО-2 – помещения 1, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 и половина сборочного цеха 8. ЩО-3 – помещения 4, 3 и вторая половина сборочного цеха 8.

Активная мощность щита освещения ЩО составит:

$$P_{\text{ЩО-1}} = P_5 + P_6 + P_7 + P_{2,5} = 7,56 + 4,05 + 3,24 + 1,35 = 16,2 \text{ кВт.}$$

$$S_{\text{ЩО-1}} = \frac{P_{\text{ЩО-1}}}{\cos \varphi} = \frac{16,2}{0,98} = 16,5 \text{ кВА.}$$

$$Q_{\text{ЩО-1}} = \sqrt{S_{\text{ЩО-1}}^2 - P_{\text{ЩО-1}}^2} = \sqrt{16,5^2 - 16,2^2} = 3,3 \text{ квар.}$$

$$I_{\text{ЩО-1}} = \frac{S_{\text{ЩО-1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} = \frac{16,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 25,1 \text{ А.}$$

Для остальных щитов рабочего и аварийного освещения нагрузки рассчитывались аналогично. Результаты расчетов нагрузок щитов рабочего и аварийного освещения приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Нагрузки щитов освещения

Линия	P, кВт	Q, квар	S, кВА	I, А
ЩО-1	16,2	3,3	16,5	25,1
ЩО-2	18,4	3,7	18,7	28,5
ЩО-3	19,2	3,9	19,6	29,7
ЩАО-1	1,8	0,4	1,8	2,8
ЩАО-2	2,1	0,4	2,1	3,2
ЩАО-3	2,2	0,4	2,2	3,3

Результаты расчетов используются в работе далее.

2.3 Расчет общей нагрузки цеха

Общая расчетная нагрузка цеха, потребляемая электрооборудованием, складывается из силовой нагрузки (технологического оборудования) и нагрузки освещения (рабочего и аварийного). Коэффициент мощности распределительных пунктов и щитов освещения рассчитывался из их общей мощности. Так, для РП-1 коэффициент мощности составил:

$$\cos \varphi_{РП-1} = \frac{P_{РП-1}}{S_{РП-1}} = \frac{46,9}{55,6} = 0,84.$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{РП-1} = \frac{Q_{РП-1}}{P_{РП-1}} = \frac{29,8}{46,9} = 0,64.$$

Для остальных распределительных пунктов и щитов освещения коэффициенты мощности рассчитывались аналогично. Сведения о нагрузке цеха приведены в таблице 8. В таблицу 8 сведены данные из таблицы 4 и таблицы 7.

Таблица 8 – Нагрузка цеха

Линия	P, кВт	Q, квар	S, кВА	I, А	cosφ	tgφ
РП-1	46,9	29,8	55,6	84,5	0,84	0,64
РП-2	4,7	2,7	5,4	8,2	0,87	0,57
РП-3	81,9	30,2	87,3	132,8	0,94	0,37
РП-4	14,3	12,8	19,2	29,1	0,74	0,90
РП-5	44,0	32,3	54,6	83,0	0,81	0,73
РП-6	5,1	2,4	5,6	8,6	0,90	0,48
РП-7	17,6	4,2	18,1	27,5	0,97	0,24
ЩО-1	16,2	3,3	16,5	25,1	0,98	0,20
ЩО-2	18,4	3,7	18,7	28,5	0,98	0,20
ЩО-3	19,2	3,9	19,6	29,7	0,98	0,20
ЩАО-1	1,8	0,4	1,8	2,8	0,98	0,20
ЩАО-2	2,1	0,4	2,1	3,2	0,98	0,20
ЩАО-3	2,2	0,4	2,2	3,3	0,98	0,20
Итого:	274,3	126,5	306,7	466,5	0,89	0,46

Все результаты учитываются в работе далее.

2.4 Компенсация реактивной мощности

После определения общей нагрузки предприятия, необходимо выполнить расчет компенсации реактивной мощности.

Устройство компенсации реактивной мощности – УКРМ, будет подключено к шинам 0,4 кВ ТП 6/0,4 кВ.

Величина реактивной мощности, которую требуется компенсировать, определяется формулой:

$$Q_{KP} = \alpha \cdot P \cdot (tg\varphi - tg\varphi_K), \quad (11)$$

где α - коэффициент, учитывающий повышение коэффициента мощности естественным способом, принимается равным 0,9.

P - активная мощность, согласно таблице 3.2.

$tg\varphi$ - коэффициент реактивной мощности, согласно таблице 3.2.

$tg\varphi_K$ - требуемый коэффициент реактивной мощности, равный 0,33.

$$Q_{KP} = 0,9 \cdot 274,3 \cdot (0,46 - 0,33) = 32 \text{ квар.}$$

По результатам расчета выбирается два устройства УКРМ мощностью 17,5 квар.

Коэффициент мощности после компенсации реактивной мощности определяется формулой:

$$tg\varphi_{факт} = tg\varphi - \frac{Q_{KV}}{\alpha \cdot P}. \quad (12)$$

Таким образом, коэффициент мощности составит:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{факт}} = 0,46 - \frac{2 \cdot 17,5}{0,9 \cdot 274,3} = 0,32.$$

Что соответствует:

$$\cos \varphi_{\text{факт}} = \cos(\operatorname{arctg}(\varphi_{\text{факт}})). \quad (13)$$

$$\cos \varphi_{\text{факт}} = 0,95.$$

В таком случае, после установки двух устройств УКРМ-0,4-17,5, реактивная мощность на шинах 0,4 кВ составит:

$$Q_{\text{КР}} = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{факт}}. \quad (14)$$

Для ТП 6/0,4 кВ предприятия по выпуску деревянных изделий реактивная мощность на шинах 0,4 кВ составит:

$$Q_{\text{КР}} = 274,3 \cdot 0,32 = 87,78 \text{ квар.}$$

В таком случае, после установки двух устройств УКРМ-0,4-17,5, полная мощность на шинах 0,4 кВ составит:

$$S_{\text{ТПНН}} = \sqrt{P^2 + Q_{\text{КР}}^2}. \quad (15)$$

Для ТП 6/0,4 кВ предприятия по выпуску деревянных изделий полная мощность на шинах 0,4 кВ составит:

$$S_{\text{ТПНН}} = \sqrt{274,3^2 + 87,8^2} = 288,0 \text{ кВА.}$$

Все результаты учитываются в работе далее.

2.5 Выбор силовых трансформаторов

Цеховая трансформаторная подстанция расположена на территории цеха предприятия.

Так как цех относится ко второй категории надежности электроснабжения, в цеховой трансформаторной подстанции будет установлено два силовых трансформатора с коэффициентом загрузки 0,7 [15].

Расчетная мощность силового трансформатора определяется по формуле [1, 2]:

$$S_{TP} = \frac{S_{ТПНН}}{n \cdot k_3}, \quad (16)$$

где k_3 – коэффициент загрузки трансформатора;

$S_{ТПНН}$ – полная мощность, кВА;

n – количество установленных трансформаторов, шт.

Тогда, для ТП 6/0,4 кВ предприятия по выпуску деревянных изделий расчетная мощность трансформаторов составит:

$$S_{TP} = \frac{288,0}{2 \cdot 0,7} = 205,7 \text{ кВА.}$$

По полученному значению выбираем трансформатор мощностью 250 кВА – ТМГ 250/6/0,4 [5].

Далее необходимо выполнить проверку выбранного трансформатора на аварийную перегрузку по формуле:

$$K_a = \frac{S_P \cdot K_1}{S_{TP} \cdot (n-1)}. \quad (17)$$

Тогда, для силовых трансформаторов ТП 6/0,4 кВ предприятия по выпуску деревянных изделий аварийная:

$$K_a = \frac{306,7 \cdot 1}{250 \cdot (2-1)} = 1,23.$$

Коэффициент аварийной перегрузки 1,23 не превышает паспортных данных (1,4), поэтому силовой трансформатор мощностью 250 кВА отвечает требованиям надёжности.

Ток силового трансформатора на вводе 6,3 кВ вычисляется по формуле [14]:

$$I_{mpBH} = \frac{S_{TP}}{\sqrt{3} \cdot U_{BH}}. \quad (18)$$

Для силового трансформатора ТМГ 250/6/0,4 ток на вводе 6 кВ составит:

$$I_{mpBH} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 23 \text{ А.}$$

Ток силового трансформатора на вводе 0,4 кВ вычисляется по формуле [14]:

$$I_{mpHH} = \frac{S_{TP}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}}. \quad (19)$$

Для трансформатора ТМГ 250/6/0,4 ток на вводе 0,4 кВ составит:

$$I_{mpHH} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 380 \text{ А.}$$

Все результаты учитываются в работе далее.

2.6 Выбор кабельной линии 6 кВ

Для питания цеховой трансформаторной подстанции выбран трехжильный кабель АСБ [6].

Кабель выбирается по допустимому току нагрева [3]:

$$I_{доп} \geq I_{mpBH}. \quad (20)$$

По справочным данным выбран трехжильный кабель АСБ сечением 3x25 (допустимый ток составляет 100 А, удельное активное сопротивление – 1,24 Ом/км, удельное индуктивное сопротивление – 0,09 Ом/км).

В таком случае:

$$I_{доп} = 100 \text{ А} \geq I_{mpBH} = 23 \text{ А.}$$

Условие выполняется. Кабель проходит проверку.

Далее кабель необходимо проверить по экономической плотности тока [9]:

$$S_{КЛ} = \frac{I_{mpBH}}{j}, \quad (21)$$

где j – нормативное значение экономической плотности тока (для алюминиевых кабелей при использовании максимума нагрузки от 3000 ч. до 5000 ч. в год принимается равным 1,7 А/мм²).

$$S_{кл} = \frac{23}{1,7} = 14 \text{ мм}^2.$$

Выбранная кабельная линия сечением 3x25 мм² удовлетворяет результатам проверки.

Далее кабель проверяется по потере напряжения.

Активное сопротивление кабельной линии определяется формулой [4]:

$$r = r_0 \cdot l. \quad (22)$$

Индуктивное сопротивление кабельной линии определяется формулой [10]:

$$x = x_0 \cdot l. \quad (23)$$

Активное сопротивление кабельной линии АСБ 3x25 протяженностью 0,8 км составит:

$$r = 1,24 \cdot 0,8 = 0,99 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление кабельной линии АСБ 3x25 протяженностью 0,8 км составит:

$$x = 0,09 \cdot 0,8 = 0,07 \text{ Ом.}$$

Согласно ГОСТ 32144-2013 максимальное отклонение напряжения у потребителя не должно превышать 10%. В таком случае, для электроустановок 6 кВ потери не должны превышать 600 В, для электроустановок 0,4 кВ – 400 В.

Действительные потери в кабельной линии определяются формулой [10]:

$$\Delta U = \frac{x \cdot Q + r \cdot P}{U_n}. \quad (24)$$

Действительные потери в кабельной линии АСБ сечением 25 мм² составят:

$$\Delta U = \frac{0,07 \cdot 126,5 + 0,99 \cdot 274,3}{10,5} = 26,7 \text{ В.}$$

Потери в кабельной линии по результатам расчета не превышают допустимые, таким образом, кабельная линия отвечает требованиям проверок.

2.7 Выбор распределительной схемы электроснабжения и кабельных линий 0,4 кВ

Схемы электроснабжения бывают [8]:

- радиальные - каждый распределительный пункт имеет свою линию от КТП, от КТП отходит столько магистралей, сколько РП;
- магистральные - распределительные пункты соединены между собой последовательно, а от КТП отходит одна магистраль;
- смешанные - в которой присутствуют обе схемы электроснабжения.

В радиальной схеме электроснабжения ток линии равен току того РП, к которому эта линия подходит, а мощность линии равен мощности РП.

В магистральной схеме электроснабжения ток линии равен сумме токов тех РП, которые установлены на магистрали на данной линии.

В связи с большой площадью цеха и небольшой мощностью щитов освещения и аварийного освещения, электроснабжение щитов освещения и

щитов аварийного освещения будет выполнено по магистральной схеме. Таким образом, от РУ-0,4 кВ будет проложена кабельная линия РУ-0,4 кВ–ЩО-3–ЩО-1–ЩО-2, а также, РУ-0,4 кВ–ЩАО-3–ЩАО-1–ЩАО-2.

Силовые щиты имеют мощность от 5,4 кВА до 87,3 кВА, в тоже время они размещены по всей территории завода. Для снижения общей протяженности распределительной сети и сокращению затрат на ее монтаж, электроснабжение силовых щитов будет выполнено по смешанной схеме:

- РУ-0,4 кВ–РП-2–РП-1–РП-6;
- РУ-0,4 кВ–РП-7–РП-4–РП-5;
- РУ-0,4 кВ–РП-3.

В тоже время, электроснабжение технологического оборудования и освещения помещений с небольшим количеством ламп будет осуществлено по радиальной схеме, то есть от каждого РП, ЩО и ЩАО будет отходить пятижильный кабель питающий все электроприемники узла. Электроснабжение ламп рабочего освещения сборочного цеха будет осуществлено по смешанной схеме, то есть от щитов освещения ЩО-2 и ЩО-3 для питания сети освещения сборочного цеха будет отходить от каждой фазы трехжильные кабели.

Выбор кабельных линий 0,4 кВ производится по условиям допустимого тока нагрева (2.5) и по потерям напряжения (2.8) [20].

Далее будут приведены расчеты по выбору кабельной линии от РУ-0,4 кВ ТП 6/0,4 кВ до РП1.

Для питания электрооборудования предприятия выбирается кабель ВВГнг.

В состав электроприемников РП-1 входят компрессоры и лазерный станок.

Кабель выбираются по условию:

По допустимому току нагрева.

Для компрессоров по справочным данным выбран кабель сечением 5x10 (допустимый ток 58 А, удельное активное сопротивление – 1,84 Ом/км, удельное реактивное сопротивление – 0,073 Ом/км).

Ток компрессора:

$$I_{\text{компрессора}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,8} = 54,3 \text{ А.}$$

$$I_{\text{дон}} = 58 \text{ А} \geq I_{\text{компрессора}} = 54,3 \text{ А.}$$

Для лазерного станка по справочным данным выбран кабель сечением 5x2,5 (допустимый ток 25 А, удельное активное сопротивление – 7,4 Ом/км, удельное реактивное сопротивление – 0,116 Ом/км).

$$I_{\text{лазерного станка}} = \frac{0,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65} = 0,9 \text{ А.}$$

В таком случае:

$$I_{\text{дон}} = 25 \text{ А} \geq I_{\text{лазерного станка}} = 0,9 \text{ А.}$$

Условие выполняется. Кабель проходит проверку.

Для питания РП-1 по справочным данным выбран кабель сечением 5x25 (допустимый ток 104 А, удельное активное сопротивление – 0,74 Ом/км, удельное реактивное сопротивление – 0,066 Ом/км).

Значение силы тока РП-1 взято из таблицы 2.2. Так как линия выполнена по магистральной схеме, через кабель, питающий РП-1 протекает ток, питающий РП-6:

$$I_{PI-1} = 84,5 + 8,6 = 93,1 \text{ A.}$$

$$I_{дон} = 104 \text{ A} \geq I_{PI-1} = 93,1 \text{ A.}$$

По потере напряжения.

Активное сопротивление кабельной линии, питающей компрессор, составит:

$$r = 1,84 \cdot 0,01 = 0,018 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление кабельной линии, питающей компрессор, составит:

$$x = 0,073 \cdot 0,01 = 0,0007 \text{ Ом.}$$

Реактивная мощность компрессора:

$$Q_{компрессора} = P \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0,8)) = 30 \cdot 0,65 = 19,4 \text{ квар.}$$

Действительные потери в кабеле ВВГнг 5x10, питающем компрессор, составят:

$$\Delta U = \frac{0,018 \cdot 30,0 + 0,0007 \cdot 19,4}{380} = 0,001 \text{ В.}$$

Потери в кабельной линия по результатам расчета не превышают допустимые, таким образом, кабельная линия отвечает требованиям проверок.

Активное сопротивление кабельной линии, питающей лазерный станок, составит:

$$r = 7,4 \cdot 0,01 = 0,074 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление кабельной линии, питающей лазерный станок, составит:

$$x = 0,116 \cdot 0,01 = 0,0012 \text{ Ом.}$$

Реактивная мощность лазерного станка:

$$Q_{\text{лазерного станка}} = 0,5 \cdot 0,6 = 0,3 \text{ квар.}$$

Действительные потери в кабеле ВВГнг 5х10, питающем лазерный станок:

$$\Delta U = \frac{0,074 \cdot 0,5 + 0,0012 \cdot 0,3}{380} = 0,0001 \text{ В.}$$

Потери в кабельной линия по результатам расчета не превышают допустимые, таким образом, кабельная линия отвечает требованиям проверок.

Активное сопротивление кабельной линии, питающей РП-1:

$$r = 0,74 \cdot 0,1 = 0,074 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление кабельной линии, питающей РП-1:

$$x = 0,066 \cdot 0,1 = 0,007 \text{ Ом.}$$

Действительные потери в кабеле ВВГнг 5х10, питающем РП-1:

$$\Delta U = \frac{0,074 \cdot 52,0 + 0,007 \cdot 33,6}{380} = 0,011 \text{ В.}$$

Потери в кабельной линия по результатам расчета не превышают допустимые, таким образом, кабельная линия отвечает требованиям проверок.

Выбор кабельных линий для остальных электроприемников и узлов выполняется аналогично.

Результаты выбора и проверки кабельных линий 0,4 кВ приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора кабельных линий 0,4 кВ

Наименование ЭП	n	P, кВт	Q, квар	I, А	L, км	марка	I _{доп} , А	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км	ΔU, %
РП-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Компрессор винтовой	2	30,0	19,4	54,3	0,01	5x10	58	1,84	0,073	0,001
Лазерный станок	1	0,5	0,3	0,9	0,01	5x2,5	25	7,4	0,116	0,000
Итого по РП:	3	52,0	33,6	93,1	0,1	5x25	104	0,74	0,066	0,011
РП-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Гидравлическая горизонтльно-гибочная машина	1	5,5	3,1	9,6	0,02	5x2,5	25	7,4	0,116	0,002
Пила ленточная	1	3,0	1,7	5,2	0,02	5x2,5	25	7,4	0,116	0,001
Пробивной станок	2	0,6	0,4	1,1	0,02	5x2,5	25	7,4	0,116	0,000
Настольно-сверлильный станок	1	0,6	0,3	1,0	0,02	5x2,5	25	7,4	0,116	0,000
Станок фуговально-рейсмусовый	1	1,8	1,0	3,1	0,02	5x2,5	25	7,4	0,116	0,001
Итого по РП:	6	56,7	32,1	99,0	0,05	5x10	58	1,84	0,073	0,014
РП-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ножницы гидравлические	1	7,5	2,7	12,1	0,05	5x2,5	25	7,4	0,116	0,007
Пила ленточная	3	9,0	3,3	14,5	0,05	5x2,5	25	7,4	0,116	0,009
Пила дисковая	1	12,5	4,5	20,2	0,05	5x2,5	25	7,4	0,116	0,012
Станок цепнодолбежный	3	27,0	9,8	43,6	0,05	5x10	58	1,84	0,073	0,007
Заточной станок	1	4,8	1,7	7,8	0,05	5x2,5	25	7,4	0,116	0,005
Кран груз. 2 тонны	1	4,1	1,5	6,6	0,05	5x2,5	25	7,4	0,116	0,004
Итого по РП:	10	81,9	29,7	132,4	0,1	5x50	155	0,37	0,063	0,008
РП-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Токарный станок	1	6,8	6,2	13,9	0,03	5x2,5	25	7,4	0,116	0,004
Фрезерный станок	1	9,0	8,2	18,5	0,03	5x2,5	25	7,4	0,116	0,005
Сверлильный станок	2	0,6	0,5	1,1	0,03	5x2,5	25	7,4	0,116	0,000
Точильно-шлифовальный станок	1	2,0	1,8	4,1	0,03	5x2,5	25	7,4	0,116	0,001
Станок распилочный бесщеточный	2	3,0	2,7	6,2	0,03	5x2,5	25	7,4	0,116	0,002
Ленточная пила	1	3,0	2,7	6,2	0,03	5x2,5	25	7,4	0,116	0,002
Станок распилочный	2	3,0	2,7	6,2	0,03	5x2,5	25	7,4	0,116	0,002

Продолжение таблицы 9

Наименование ЭП	n	P, кВт	Q, квар	I, А	L, км	марка	Идоп, А	r0, Ом/км	x0, Ом/км	ΔU , %
Станок фрезерно-гравировальный	3	3,0	2,7	6,2	0,03	5x2,5	25	7,4	0,116	0,002
Станок строгальный	1	5,0	4,5	10,3	0,03	5x2,5	25	7,4	0,116	0,003
Итого по РП:	14	58,3	53,0	119,7	0,07	5x35	127	0,53	0,0637	0,006
РП-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Линия порошковой покраски	1	55,0	39,8	103,2	0,02	5x25	104	0,74	0,066	0,002
Итого по РП:	1	44,0	31,9	82,5	0,1	5x25	104	0,74	0,066	0,009
РП-6										
Кран груз. 1 тонна	1	2,6	1,3	4,4	0,05	5x2,5	25	7,4	0,116	0,003
Кран груз. 2 тонны	1	4,1	2,0	6,9	0,05	5x2,5	25	7,4	0,116	0,004
Кран груз. 3,2 тонны	1	6,0	2,9	10,1	0,05	5x2,5	25	7,4	0,116	0,006
Итого по РП:	3	5,1	2,5	8,6	0,1	5x2,5	25	7,4	0,116	0,010
РП-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Кран груз. 10 тонн	2	11,0	2,8	17,2	0,04	5x2,5	25	7,4	0,116	0,009
Итого по РП	2	75,9	19,0	118,9	0,03	5x35	127	0,53	0,0637	0,003
ЩО-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Помещение 5	1	7,6	1,5	11,7	0,2	5x2,5	25	7,4	0,116	0,030
Помещение 6	1	4,1	0,8	6,3	0,1	5x2,5	25	7,4	0,116	0,008
Помещение 7	1	3,2	0,7	5,0	0,05	5x2,5	25	7,4	0,116	0,003
Помещение 2.6	1	0,5	0,1	0,8	0,07	5x2,5	25	7,4	0,116	0,001
Итого по ЩО-1	1	33,8	6,9	52,3	0,1	5x10	58	1,84	0,073	0,016
ЩО-2										
Помещение 1	1	0,5	0,1	0,8	0,04	5x2,5	25	7,4	0,116	0,000
Помещение 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5	1	2,7	0,5	4,2	0,05	5x2,5	25	7,4	0,116	0,003
Помещение 8	1	15,1	3,1	23,4	0,3	5x2,5	25	7,4	0,116	0,089
Итого по ЩО-2	1	18,4	3,7	28,5	0,1	5x10	58	1,84	0,073	0,009
ЩО-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Помещение 3	1	0,5	0,1	0,8	0,03	5x2,5	25	7,4	0,116	0,000
Помещение 4	1	2,2	0,4	3,3	0,1	5x2,5	25	7,4	0,116	0,004
Помещение 8	1	15,9	3,2	24,7	0,3	5x2,5	25	7,4	0,116	0,093
Итого по ЩО-3	1	52,4	10,6	81,2	0,03	5x25	104	0,74	0,066	0,003
ЩАО-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Помещение 5	1	0,8	0,2	1,3	0,1	5x2,5	25	7,4	0,116	0,002
Помещение 6	1	0,5	0,1	0,7	0,1	5x2,5	25	7,4	0,116	0,001
Помещение 7	1	0,4	0,1	0,6	0,05	5x2,5	25	7,4	0,116	0,000
Помещение 2.6	1	0,1	0,0	0,1	0,05	5x2,5	25	7,4	0,116	0,000
Итого по ЩАО-1	1	3,8	0,8	5,9	0,1	5x2,5	25	7,4	0,116	0,007
ЩАО-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Помещение 1	1	0,1	0,0	0,1	0,04	5x2,5	25	7,4	0,116	0,000
Помещение 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5	1	0,4	0,1	0,6	0,05	5x2,5	25	7,4	0,116	0,000
Помещение 8	1	1,6	0,3	2,5	0,17	3x3x2,5	25	7,4	0,116	0,005

Продолжение таблицы 9

Наименование ЭП	n	P, кВт	Q, квар	I, А	L, км	марка	Iдоп, А	r0, Ом/км	x0, Ом/км	ΔU , %
Итого по ЩАО-2	1	2,1	0,4	3,2	0,1	5x2,5	25	7,4	0,116	0,004
ЩАО-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Помещение 3	1	0,1	0,0	0,1	0,03	5x2,5	25	7,4	0,116	0,000
Помещение 4	1	0,3	0,1	0,4	0,1	5x2,5	25	7,4	0,116	0,001
Помещение 8	1	1,7	0,3	2,7	0,17	3x3x2,5	25	7,4	0,116	0,006
Итого по ЩАО-3	1	5,9	1,2	9,1	0,03	5x2,5	25	7,4	0,116	0,003

Результаты используются в работе далее.

2.8 Расчет токов КЗ

Для проверки коммутационного и защитного оборудования ТП 6/0,4 кВ необходимо выполнить расчет токов короткого замыкания.

Сначала составляется расчетная схема для определения места короткого замыкания и элементов электрической схемы (рисунок 8).

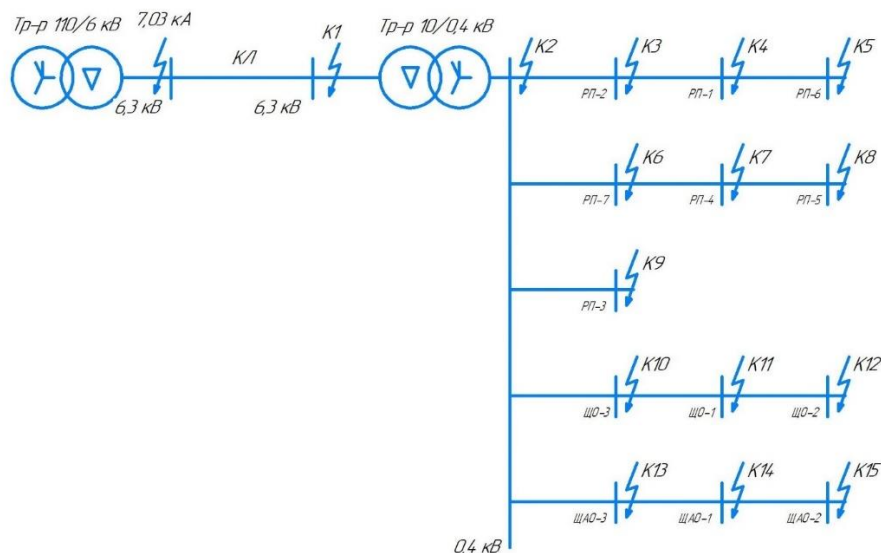


Рисунок 8 – Расчетная схема

После чего составляется схема замещения для определения расчетных сопротивлений элементов системы электроснабжения (рисунок 9).

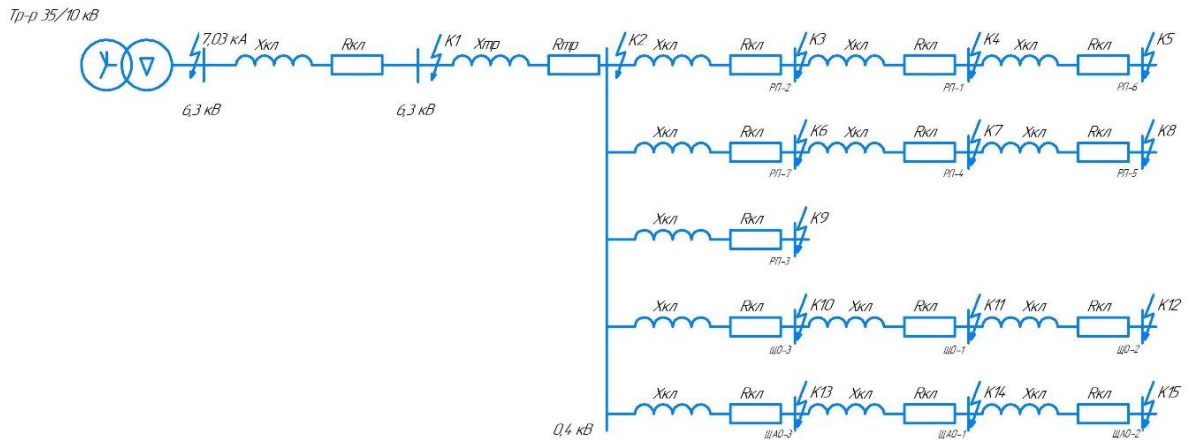


Рисунок 9 – Схема замещения

Согласно расчетной схеме, точка K1 находится на шинах 6 кВ цеховой трансформаторной подстанции.

Сначала необходимо задать базисное напряжение, которое превышает номинальное напряжение на 5%. Для шин 6 кВ базисное напряжение составляет:

$$U_{б1} = 6,3 \text{ кВ.}$$

Согласно расчетной схеме, ток короткого замыкания на шинах 6 кВ центра питания – ПС 110/6 кВ, составляет 7,03 кА.

Далее необходимо определить сопротивления элементов системы электроснабжения согласно схеме замещения на рисунке 8.

Индуктивное сопротивление системы определяется по формуле [12]:

$$X_C = Z_C = \frac{U_{б}}{\sqrt{3} \cdot I_C}. \quad (20)$$

$$X_C = Z_C = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 7,03} = 0,52 \text{ Ом.}$$

Активным сопротивлением системы пренебрегаем ввиду его малого значения по сравнению с реактивным (допущения, не приводящие к большому отклонению в итоговых значениях токов допускаются по [12]).

Итоговое индуктивное сопротивление системы электроснабжения до точки К1, согласно схеме замещения, составит:

$$X_{K1} = X_C + X_{KL}, \quad (21)$$

где X_{K1} – результирующее реактивное сопротивление до точки К1, Ом;

X_C – реактивное сопротивление системы, Ом;

X_{KL} – реактивное сопротивление кабельной линии, Ом;

Итоговое активное сопротивление системы электроснабжения до точки К1, согласно схеме замещения, составит:

$$R_{K1} = R_{KL}, \quad (22)$$

где R_{K1} – результирующее активное сопротивление до точки К1, Ом;

R_{KL} – активное сопротивление кабельной линии, Ом;

Полное сопротивление системы электроснабжения до точки К1 определяется по формуле [12]:

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2}. \quad (23)$$

Реактивное и активное сопротивление кабельной линии определены в п. 2.7 таким образом.

Таким образом, суммарное реактивное сопротивление системы электроснабжения до точки К1 составит:

$$X_{K1} = 0,52 + 0,07 = 0,59 \text{ Ом.}$$

Суммарное активное сопротивление системы электроснабжения до точки К1 составит:

$$R_{K1} = 0,99 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление системы электроснабжения до точки К1 составит:

$$Z_{K1} = \sqrt{0,99^2 + 0,59^2} = 1,15 \text{ Ом.}$$

Ток трёхфазного короткого замыкания определяется по формуле [12]:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_\phi}{\sqrt{3} \cdot Z_\Sigma}. \quad (24)$$

Ударные ток короткого замыкания определяется по формуле:

$$i_{y\phi} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot K_{y\phi}, \quad (25)$$

где $K_{y\phi}$ – ударный коэффициент, равный 1,8 для секции шин 6 кВ и 1,3 для секции шин 0,4 кВ.

Значение мощности короткого замыкания равно [12]:

$$S_K = \sqrt{3} \cdot I_K \cdot U_\phi. \quad (26)$$

Таким образом, для точки К1 значение тока трехфазного короткого замыкания составит [12]:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 1,15} = 3,16 \text{ кА.}$$

Для точки К1 значение ударного тока КЗ составит [12]:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 3,16 \cdot 1,8 = 8,04 \text{ А.}$$

Для точки К1 значение мощности короткого замыкания составит:

$$S_{K1} = \sqrt{3} \cdot 3,16 \cdot 6,3 = 34,48 \text{ кВА.}$$

Далее необходимо определить значение тока трехфазного короткого замыкания и ударного тока короткого замыкания в точке К2. Согласно расчетной схеме (рисунок 7), точка К2 находится на шинах РУ-0,4 кВ цеховой трансформаторной подстанции.

Базисное напряжение на шинах РУ-0,4 кВ в точке К2 составит:

$$U_{\partial 2} = 0,38 \text{ кВ.}$$

Далее необходимо определить сопротивления элементов системы электроснабжения согласно схеме замещения на рисунке 8.

Согласно [6], активное сопротивление трансформатора ТМГ мощностью 250 кВА составляет 9,4 мОм, реактивное сопротивление составляет 27,2 мОм.

Таким образом:

$$R_{TP} = 9,40 \text{ мОм.}$$

$$X_{TP} = 27,20 \text{ мОм.}$$

Суммарное активное сопротивление до точки К2 составит:

$$R_{K2} = R'_{K1} + R_{TP}, \quad (27)$$

где R'_{K1} – эквивалентное активное сопротивление до точки К1, приведенное к базисному уровню в точке К2.

Суммарное индуктивное сопротивление до точки К2 составит:

$$X_{K2} = X'_{K1} + X_{TP}, \quad (28)$$

где X'_{K1} – эквивалентное реактивное сопротивление в цепи короткого замыкания до точки К1, приведенное к базисному уровню напряжения в точке К2.

Общее сопротивление до точки К2 составит:

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2}. \quad (29)$$

Эквивалентное активное сопротивление в точке К2 составит [12]:

$$R'_{K1} = R_{K1} \cdot \left(\frac{U_{\delta 2}}{U_{\delta 1}}\right)^2. \quad (30)$$

Эквивалентное индуктивное сопротивление в точке К2 составит [12]:

$$X'_{K1} = X_{K1} \cdot \left(\frac{U_{\delta 2}}{U_{\delta 1}}\right)^2. \quad (31)$$

Таким образом, эквивалентное активное сопротивление в точке К2 равно:

$$R_{K2} = 0,99 \cdot \left(\frac{0,38}{6,3}\right)^2 = 3,60 \text{ мОм.}$$

Таким образом, эквивалентное индуктивное сопротивление в точке К2 равно:

$$X_{K2} = 0,59 \cdot \left(\frac{0,38}{10,5}\right)^2 = 2,15 \text{ мОм.}$$

Таким образом, активное сопротивление до точки К2 составит:

$$R_{K2} = 3,60 + 9,40 = 13,00 \text{ Ом.}$$

Реактивное сопротивление до точки К2 составит:

$$X_{K2} = 2,15 + 27,20 = 29,35 \text{ мОм.}$$

Полное сопротивление до точки К2 составит:

$$Z_{K2} = \sqrt{13,00^2 + 29,35^2} = 32,49 \text{ мОм.}$$

Ток трехфазного КЗ для точки К2:

$$I_K = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 32,49} = 7,70 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ в точке К2:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 7,70 = 14,16 \text{ А.}$$

Значение мощности короткого замыкания в точке К2 равно:

$$S_{K1} = \sqrt{3} \cdot 7,70 \cdot 0,38 = 5,07 \text{ кВА.}$$

При расчете токов КЗ точек К3-К15, сопротивление будет складываться из сопротивления в точке К2 и сопротивление кабельной линии от РУ-0,4 кВ до точки КЗ:

$$R_{K3-15} = R_{K2} + R_{KL}. \quad (32)$$

$$X_{K3-15} = X_{K2} + X_{KL}. \quad (33)$$

$$Z_{K3-15} = \sqrt{R_{K3-15}^2 + X_{K3-15}^2}. \quad (34)$$

Остальные расчеты производятся аналогично с расчетами для точки К2.

Результаты расчетов токов КЗ приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты расчетов токов КЗ

Точка КЗ	Uб, кВ	R, Ом	X, Ом	Z, Ом	I, кА	Iуд, кА	Skз, МВА
К1	6,3	0,990	0,590	1,152	3,16	8,04	34,48
К2	0,38	0,013	0,029	0,028	7,70	14,16	5,07
К3	0,38	0,092	0,040	0,100	2,19	4,02	1,44
К4	0,38	0,166	0,011	0,166	1,32	2,42	0,87
К5	0,38	0,906	0,023	0,906	0,24	0,45	0,16
К6	0,38	0,016	0,002	0,016	13,61	25,01	8,96
К7	0,38	0,053	0,006	0,053	4,11	7,56	2,71
К8	0,38	0,127	0,013	0,128	1,72	3,16	1,13
К9	0,38	0,037	0,006	0,037	5,85	10,76	3,85
К10	0,38	0,390	0,016	0,390	0,56	1,03	0,37
К11	0,38	0,022	0,002	0,022	9,93	18,26	6,54
К12	0,38	0,206	0,009	0,206	1,06	1,96	0,70
К13	0,38	0,222	0,003	0,222	0,99	1,82	0,65
К14	0,38	0,962	0,015	0,962	0,23	0,42	0,15
К15	0,38	1,702	0,027	1,702	0,13	0,24	0,08

Результаты используются в работе далее.

2.9 Выбор оборудования ТП-10/0,4 кВ

В РУ-6 кВ выбран выключатель ВНА-10/630.

Далее необходимо провести проверку выбранного выключателя по ряду параметров [10].

– по номинальному напряжению $U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$:

$$U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ} \leq U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ};$$

– по номинальному длительному (рабочему) току $I_{\text{раб}} \leq I_{\text{ном}}$; $I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$:

$$I_{\text{раб}} = 23 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 630 \text{ А};$$

$$I_{\text{max}} = 32 \text{ А} \leq I_{\text{ном}} = 630 \text{ А},$$

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{Т.ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 23 \text{ А},$$

$$I_{\text{max}} = 1,4 \cdot \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 32 \text{ А};$$

– по предельному сквозному току короткого замыкания – на электродинамическую стойкость:

$$I_{\text{н.о}} \leq I_{\text{пр.с}},$$

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}} = i_{\text{пр.с}},$$

$$I_{н,о} = 3,16 \text{ кА} \leq I_{пр.с} = 51 \text{кА}.$$

$$i_{уд} = 8,04 \text{ кА} \leq i_{пр.с} = 51 \text{ кА}.$$

– по тепловому импульсу – на термическую стойкость:

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T,$$

При условии $t_{откл} > t_T$. Если $t_{откл} < t_T$, то $B_k \leq I_T^2 \cdot t_{откл}$

Время отключения короткого замыкания:

$$t_{откл} = t_{рз} + t_{пв.откл} = 0,01 + 0,2 = 0,21 \text{ с}.$$

$$B_k = I_{п,о}^2 (t_{откл} + T_a) = (3,16 \cdot 10^3)^2 (0,21 + 0,03) = 2,40 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с}.$$

Так как в данном случае $t_{откл} = 0,21 \text{ с} < t_T = 1 \text{ с}$, то условие проверки на термическую стойкость имеет вид:

$$B_k = 2,40 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с} \leq I_T^2 \cdot t_{откл} = (20 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,21 = 84 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \text{ с}.$$

На основании проведенных проверок можно сделать вывод, что выбранный выключатель отвечает всем требованиям и окончательно принят к установке в КРУ-10 кВ.

Результаты проверки выключателя высокого напряжения ВНА-10/630 сведены в таблице 11.

Таблица 11 – Проверка выключателя ВНА-10/630

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$
$I_{\text{раб}} = 23 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{раб}} \leq I_{\text{ном}}$
$I_{\text{max}} = 32 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$
$I_{\text{н,о}} = 3,16 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 50 \text{ кА}$	$I_{\text{н,о}} \leq I_{\text{пр.с}}$
$i_{\text{уд}} = 8,04 \text{ кА}$	$i_{\text{пр.с}} = 51 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}$
$i_{\text{уд}} = 8,04 \text{ кА}$	$i_{\text{вкл.норм}} = 51 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{вкл.норм}}$
$B_{\text{красч}} = 2,40 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}$	$B_{\text{квыкл}} = 84 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}$	$B_{\text{красч}} \leq B_{\text{квыкл}}$

Далее выбираются предохранители 10 кВ. Выбирается предохранитель ПКТ-104-6-160-31,5 УЗ. Проверка выбранного предохранителя производится аналогично, результаты приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Проверка предохранителя ПКТ-104-6-160-31,5 УЗ

Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$
$I_{\text{раб}} = 23 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 160 \text{ А}$	$I_{\text{раб}} \leq I_{\text{ном}}$
$I_{\text{max}} = 32 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 160 \text{ А}$	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$
$I_{\text{н,о}} = 3,16 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 31,5 \text{ кА}$	$I_{\text{н,о}} \leq I_{\text{пр.с}}$
$i_{\text{уд}} = 8,04 \text{ кА}$	$i_{\text{пр.с}} = 31,5 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}$

Далее проверяем трансформатор тока ТОЛ-СЭЦ. Проверка выбранного предохранителя производится аналогично, результаты приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Проверка трансформатора тока ТОЛ-СЭЦ-10

Трансформатор тока ТОЛ-СЭЦ-10		
Расчетные данные	Каталожные данные	Условия выбора
$U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ}$	$U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}}$
$I_{\text{раб}} = 23 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 100 \text{ А}$	$I_{\text{раб}} \leq I_{\text{ном}}$
$i_{\text{уд}} = 8,04 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$
$B_{\text{красч}} = 2,40 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}$	$B_{\text{кТТ}} = 1600 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}$	$B_{\text{красч}} \leq B_{\text{кТТ}}$

Далее проверяем трансформатор напряжения ЗНОЛ-СЭЩ. Трансформатор тока имеет следующие технические характеристики.

Справочные данные трансформатора напряжения: номинальное напряжение ЗНОЛ-СЭЩ – 10 кВ; номинальная мощность в классе точности 0,5 – $S_{\text{ном}} = 75 \text{ ВА}$.

Так как трансформатор напряжения ЗНОЛ однофазный, соединенный в звезду, то номинальная мощность его для трех фаз будет рассчитываться:

$$S_{\text{ном}} = 3 \cdot 75 = 225 \text{ ВА}.$$

Для упрощения расчетов нагрузку приборов можно не разделять по фазам, тогда

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{\text{приб}} \cos \phi)^2 + (\sum S_{\text{приб}} \sin \phi)^2} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2}.$$

Подсчет вторичной нагрузки целесообразно определять с помощью таблицы 14.

Таблица 14 – Подсчет вторичной нагрузки

Приборы	Тип	Потребляемая мощность одной катушки, ВА	Число катушек	cos φ	sin φ	Число приборов	Общая потребляемая мощность	
							P, Вт	Q, вар
Вольтметр	Ц42702	2	1	1	0	2	4	–
Ваттметр	ЩВ02.1	1,5	2	1	0	1	3	–
Счетчик активной и реактивной энергии многофункциональный	Альфа А1700	4	2	0,38	0,925	3	9,12	22,2
Итого:							16,12	22,2

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2} = \sqrt{16,12^2 + 22,2^2} = 27,43 \text{ ВА}.$$

Параметры выбранного трансформатора напряжения сводятся в таблицу 15.

Таблица 15 – Параметры выбранного трансформатора напряжения

Параметр	Значение
Номинальное напряжение обмотки, В: ВН НН	10000 / $\sqrt{3}$ 100 / $\sqrt{3}$
Вторичная нагрузка, ВА: расчетная $S_{2\Sigma}$ $S_{\text{ном}}$	27,43 225
Класс точности	0,5

Далее необходимо выбрать оборудование в РУ-0,4 кВ.

Все выбираемое электрооборудование изначально выбирается по току и напряжению ($I_{\text{номВН}}$; $U_{\text{уст}}$) [9].

Для коммутации электрических сетей по стороне 0,4 кВ для установки в ячейку ввода трансформатора в панели ЩО-01-49 используется автоматический выключатель Э25С.

Проверка выбранного выключателя нагрузки приведена в таблице 16.

Таблица 16 – Условие выбор выключателя нагрузки

Параметры	Расчетные данные	Условие	Паспортные данные
Номинальное напряжение	0,4	\leq	0,4
Номинальный ток	380	\leq	1000
Электродинамическая стойкость	$i_{\text{уд}} = 14,16 \text{ кА}$	\leq	$i_{\text{д.с.}} = 50 \text{ кА}$

В РУ-0,4 кВ выбран автоматический выключатель Э25С и разъединитель РЕ19-39 с номинальным током 630 А.

Проверка выбранного выключателя нагрузки приведена в таблице 17.

Таблица 17 – Проверка выбранного выключателя нагрузки установки в линейные панели №2 и 4

Номер ячейки	Назначение ячейки	Ток ячейки	Номинальный ток, А	Ток динамической стойкости, кА	Ударный ток КЗ, кА
2	РП-3	132,8	160	100	14,16
3	Рабочее освещение	83,3	100	80	14,16
4	Аварийное освещение	9,3	16	3,5	14,16
5	Резерв	-	-	-	-
7	РП-2, РП-1, РП-6	101,3	125	100	14,16
8	РП-7, РП-4, РП-5	139,7	160	100	14,16
9	Резерв	-	-	-	-
10	Резерв	-	-	-	-

Проверка выбранного разъединителя приведена в таблице 18.

Таблица 18 – Условие выбора разъединителя

Параметры	Расчетные данные	Условие	Паспортные данные
Номинальное напряжение	0,4	\leq	0,4
Номинальный ток	380	\leq	630
Электродинамическая стойкость	$i_{уд} = 14,16 \text{ кА}$	\leq	$i_{д.с.} = 32 \text{ кА}$

После этого необходимо выбрать трансформаторы тока в ячейки 0,4 кВ.

Проверка выбранных трансформаторов тока Т-0,66 приведена в таблице 19.

Таблица 19 – Условие выбора трансформаторов тока Т-0,66

Номер панель	Номер ячейки	Назначение ячейки	Ток ячейки, А	Первичный ток Т-0,66, А
1	1	Ввод	380	400
5	11	Ввод	380	400

Полученные результаты выбора оборудования используются в работе далее.

2.10 Выбор защитного оборудования распределительной сети

В качестве щитов рабочего и аварийного освещения применяется распределительный щит ОЩВ-3-63-24 с автоматическими выключателями.

Щит укомплектован [10]:

- вводной выключатель: ВА47-29;
- выключатели на отходящих линиях: ВА47-29.

В качестве распределительных пунктов применяются щиты типа ПР8501 с автоматическими выключателями ВА51-35.

Номинальный ток автоматических выключателей определялся в зависимости от тока щита или линии (оборудования).

Результат выбора автоматических выключателей приведен в таблице 20.

Таблица 20 – Результат выбора автоматических выключателей

Линия	Ток линии, А	Тип АВ	Ток АВ, А
РП-1	-	-	-
Компрессор винтовой	54,3	ВА47-29	63
Лазерный станок	0,9	ВА47-29	2
Итого по РП:	84,5	ВА51-30	100
РП-2	-	-	-
Гидравлическая горизонтльно-гибочная машина	9,6	ВА47-29	13
Пила ленточная	5,2	ВА47-29	8
Пробивной станок	1,1	ВА47-29	2
Настольно-сверлильный станок	1,0	ВА47-29	5
Станок фуговально-рейсмусовый	3,1	ВА47-29	4
Итого по РП:	8,2	ВА51-30	16
РП-3			
Ножницы гидравлические	12,1	ВА47-29	16
Пила ленточная	14,5	ВА47-29	16
Пила дисковая	20,2	ВА47-29	25
Станок цепнодолбежный	43,6	ВА47-29	50
Заточной станок	7,8	ВА47-29	10
Кран груз. 2 тонны	6,6	ВА47-29	10
Итого по РП:	132,8	ВА51-30	160
РП-4			
Токарный станок	13,9	ВА47-29	16
Фрезерный станок	18,5	ВА47-29	25
Сверлильный станок	1,1	ВА47-29	2
Точильно-шлифовальный станок	4,1	ВА47-29	8
Станок распилочный бесщеточный	6,2	ВА47-29	8

Продолжение таблицы 20

Линия	Ток линии, А	Тип АВ	Ток АВ, А
Ленточная пила	6,2	ВА47-29	8
Станок распилочный	6,2	ВА47-29	8
Станок фрезерно-гравировальный	6,2	ВА47-29	8
Станок строгальный	10,3	ВА47-29	16
Итого по РП:	29,1	ВА51-30	40
РП-5	-	-	-
Линия порошковой покраски	103,2	-	-
Итого по РП:	103,2	ВА51-30	125
РП-6	-	-	-
Кран грузоподъемностью 1 тонна	4,4	ВА47-29	6
Кран грузоподъемностью 2 тонны	6,9	ВА47-29	10
Кран грузоподъемностью 3,2 тонны	10,1	ВА47-29	16
Итого по РП:	8,6	ВА51-30	16
РП-7	-	-	-
Кран грузоподъемностью 10 тонны	17,2	ВА47-29	20
Итого по РП:	27,5	ВА51-30	40
ЩО-1	-	-	-
Помещение 5	11,7	ВА47-29	16
Помещение 6	6,3	ВА47-29	10
Помещение 7	5,0	ВА47-29	10
Помещение 2.6	0,8	ВА47-29	2
Итого по ЩО-1	25,1	ВА47-29	32
ЩО-2	-	-	-
Помещение 1	0,8	ВА47-29	2
Помещение 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5	4,2	ВА47-29	6
Помещение 8	23,4	ВА47-29	32
Итого по ЩО-2	28,5	ВА47-29	32
ЩО-3	-	-	-
Помещение 3	0,8	ВА47-29	2
Помещение 4	3,3	ВА47-29	6
Помещение 8	24,7	ВА47-29	32
Итого по ЩО-3	29,7	ВА47-29	32
ЩАО-1	-	-	-
Помещение 5	1,3	ВА47-29	2
Помещение 6	0,7	ВА47-29	2
Помещение 7	0,6	ВА47-29	2
Помещение 2.6	0,1	ВА47-29	2
Итого по ЩАО-1	2,8	ВА47-29	4
ЩАО-2	-	-	-
Помещение 1	0,1	ВА47-29	2
Помещение 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5	0,6	ВА47-29	2
Помещение 8	2,5	ВА47-29	6
Итого по ЩАО-2	3,2	ВА47-29	6
ЩАО-3			
Помещение 3	0,1	ВА47-29	2
Помещение 4	0,4	ВА47-29	2
Помещение 8	2,7	ВА47-29	6

Выводы по разделу 2.

В результате выполнения раздела работы сделаны следующие выводы:

- получено, что фактические значения коэффициента реактивной мощности превышают оптимальные. Устройство компенсации реактивной мощности – УКРМ, будет подключено к шинам 0,4 кВ ТП 6/0,4 кВ. По результатам расчета выбирается два устройства УКРМ мощностью 17,5 квар;

- в связи с большой площадью цеха и небольшой мощностью щитов освещения и аварийного освещения, электроснабжение щитов освещения и щитов аварийного освещения будет выполнено по магистральной схеме. Таким образом, от РУ-0,4 кВ будет проложена кабельная линия РУ-0,4 кВ–ЩО-3–ЩО-1–ЩО-2, а также, РУ-0,4 кВ–ЩАО-3–ЩАО-1–ЩАО-2;

- силовые щиты имеют мощность от 5,4 кВА до 87,3 кВА, в тоже время они размещены по всей территории завода. Для снижения общей протяженности распределительной сети и сокращению затрат на ее монтаж, электроснабжение силовых щитов будет выполнено по смешанной схеме: РУ-0,4 кВ–РП-2–РП-1–РП-6; РУ-0,4 кВ–РП-7–РП-4–РП-5; РУ-0,4 кВ–РП-3;

- в тоже время, электроснабжение технологического оборудования и освещения помещений с небольшим количеством ламп будет осуществлено по радиальной схеме, то есть от каждого РП, ЩО и ЩАО будет отходить пятижильный кабель, питающий все электроприемники узла. Электроснабжение ламп рабочего освещения сборочного цеха будет осуществлено по смешанной схеме, то есть от щитов освещения ЩО-2 и ЩО-3 для питания сети освещения сборочного цеха будет отходить от каждой фазы трехжильные кабели;

- для питания электрооборудования предприятия выбирается кабель ВВГнг.

3 Релейная защита

Защиты силового трансформатора ТМ-250/6/0,4 в РУ-6 кВ обеспечивает блок релейной защиты типа Seram 1000+ T40.

Токовая отсечка рассчитывается по формуле [11]:

$$I_{C31} = k_{отс} \cdot I_{K1}, \quad (35)$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, для SEPAM равен 1,1–1,15, согласно рекомендаций Schneider Electric.

$$I_{C31} = 1,1 \cdot 3160 = 3476 \text{ A.}$$

$$I_{C32} = k_{отс} \cdot I_{ном} \cdot k_{бр}, \quad (36)$$

где $K_{бр}=3-5$ коэффициент броска тока намагничивания, принимается $k_{бр}=5$, согласно рекомендаций Schneider Electric.

$$I_{C32} = 1,1 \cdot 23 \cdot 5 = 126,5 \text{ A.}$$

Уставки защиты для данного типа терминала выбираются в первичных значениях поэтому:

$$I_{CP} = 130 \text{ A.}$$

Чувствительность защиты, в таком случае составит: [11]:

$$K_{\chi} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{I_{K1}^3}{I_{cp}}. \quad (37)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{3160}{130} = 21,05 > 1,2.$$

Таким образом, можно сделать вывод, что обеспечивается чувствительность защиты.

Максимальная токовая защита рассчитывается по формуле [11]:

$$I_{\text{сз}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{сзп}} \cdot I_{\text{макс}}}{k_{\text{в}}}, \quad (38)$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, для терминалов SEPAM принимается

1,1;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата, для терминалов SEPAM принимается

0,935;

$k_{\text{сзп}}$ – коэффициент самозапуска электродвигателей обобщенной нагрузки; если двигателя не оборудованы устройством самозапуска, применяется 1,2÷1,3.

$$I_{\text{сз}} = \frac{1,1 \cdot 1,3 \cdot 23}{0,935} = 35,18 \text{ А.}$$

$$I_{\text{ср}} = 40 \text{ А.}$$

Выдержку времени для данной защиты выбираем 500 мс.

Чувствительность защиты, в таком случае составит [11]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{I_{\text{КЗ.мин.К4}}^3}{I_{\text{ср}}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{3160}{40} = 68,42 > 1,5.$$

Таким образом, можно сделать вывод, что обеспечивается чувствительность защиты. Произведем расчет защиты от перегрузки [11]:

$$I_{C3} = \frac{k_{отс} \cdot I_{ном}}{k_{\theta}} = \frac{1,1 \cdot 23}{0,935} = 27,06 \text{ А.}$$

$$I_{CP} = 30 \text{ А.}$$

Для защиты от перегрузки выставляем время срабатывания 9 сек.

Схема подключения блока релейной защиты типа Sepam 1000+ T40 к сети электроснабжения приведена на рисунке 10.

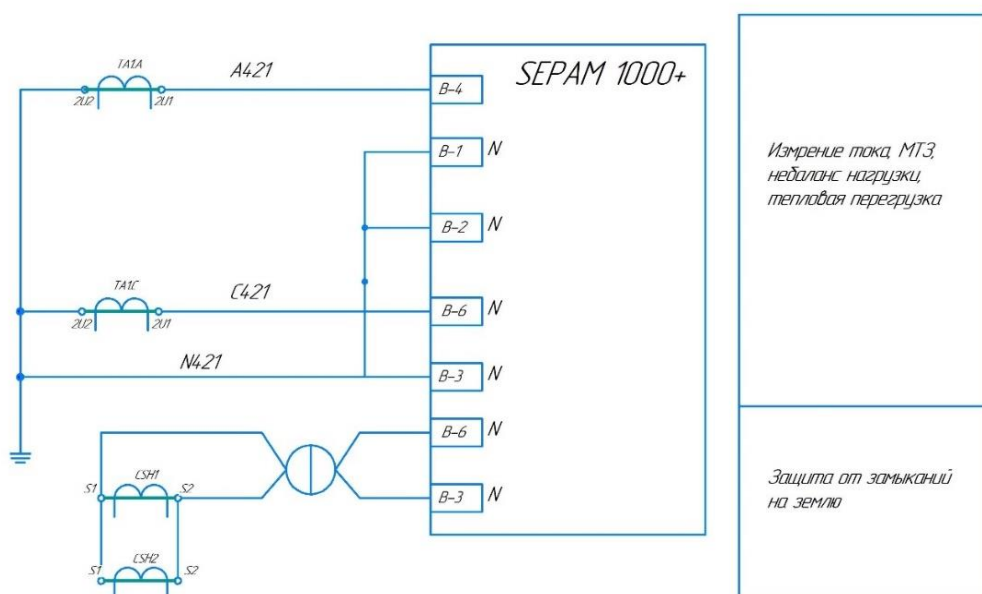


Рисунок 10 – Схема подключения блока релейной защиты типа Sepam 1000+ T40

Схема подключения принята за основу.

Выводы по разделу 3.

В результате выполнения раздела работы сделаны следующие выводы:

- установлено, что защит силового трансформатора ТМ-250/6/0,4 в РУ-6 кВ обеспечивается блоком релейной защиты типа Sepam 1000+ T40.

Чувствительность защиты обеспечивается;

- схема подключения блока релейной защиты типа Sepam 1000+ T40 принята за основу.

Заключение

В результате написания работы была достигнута цель работы – разработка проекта системы электроснабжения предприятия по выпуску деревянных изделий.

В соответствии с поставленной целью решены следующие задачи:

- выполнен расчет электрических нагрузок;
- выполнен выбор системы освещения;
- выполнен выбор установок компенсации реактивной мощности;
- выполнен выбор коммутационного оборудования;
- выполнен выбор кабельных линий;
- выполнен выбор аппаратов релейной защиты.

Для решения поставленных задач работа разделена на семь глав.

В первой главе приведено описание предприятия – краткая характеристика, перечень электрооборудования и план помещений. Основными потребителями цеха являются электрические двигатели станков (сверлильных, токарных и прочих), кранов, а также, сварочные аппараты.

Вторая глава посвящена расчету электрических нагрузок предприятия и выбору оборудования.

Технологическое оборудование разделено на 7 распределительных пунктов.

С целью энергосбережения для рабочего выбраны светодиодные светильники ДИУС-240. Для аварийного освещения использованы светодиодные светильники ДИУС-80. В связи с большой площадью здания, целесообразно всю нагрузку системы освещения разделить на несколько щитов освещения. Так, помещения 5, 6, 7 и 2.5 будут объединены в один щит освещения ЩО-1. ЩО-2 – помещения 1, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 и половина сборочного цеха 8. ЩО-3 – помещения 4, 3 и вторая половина сборочного цеха 8.

После определения общей нагрузки предприятия, необходимо выполнить расчет компенсации реактивной мощности. Устройство компенсации реактивной мощности – УКРМ, будет подключено к шинам 0,4 кВ ТП 6/0,4 кВ. По результатам расчета выбирается два устройства УКРМ мощностью 17,5 квар.

Цеховая трансформаторная подстанция расположена на территории цеха предприятия. Так как цех относится ко второй категории надежности электроснабжения, в цеховой трансформаторной подстанции будет установлено два силовых трансформатора с коэффициентом загрузки 0,7. По полученной мощности выбран трансформатор ТМГ 250/6/0,4.

Для питания трансформаторной подстанции выбирается кабель АСБ сечением 3х25.

В связи с большой площадью цеха и небольшой мощностью щитов освещения и аварийного освещения, электроснабжение щитов освещения и щитов аварийного освещения будет выполнено по магистральной схеме. Таким образом, от РУ-0,4 кВ будет проложена кабельная линия РУ-0,4 кВ–ЩО-3–ЩО-1–ЩО-2, а также, РУ-0,4 кВ–ЩАО-3–ЩАО-1–ЩАО-2.

Силовые щиты имеют мощность от 5,4 кВА до 87,3 кВА, в тоже время они размещены по всей территории завода. Для снижения общей протяженности распределительной сети и сокращению затрат на ее монтаж, электроснабжение силовых щитов будет выполнено по смешанной схеме:

- РУ-0,4 кВ–РП-2–РП-1–РП-6;
- РУ-0,4 кВ–РП-7–РП-4–РП-5;
- РУ-0,4 кВ–РП-3.

В тоже время, электроснабжение технологического оборудования и освещения помещений с небольшим количеством ламп будет осуществлено по радиальной схеме, то есть от каждого РП, ЩО и ЩАО будет отходить пятижильный кабель питающий все электроприемники узла. Электроснабжение ламп рабочего освещения сборочного цеха будет осуществлено по смешанной схеме, то есть от щитов освещения ЩО-2 и ЩО-

3 для питания сети освещения сборочного цеха будет отходить от каждой фазы трехжильные кабели.

Для питания электрооборудования предприятия выбирается кабель ВВГнг.

Для проверки выбранного оборудования произведен расчет токов короткого замыкания на шинах 6 кВ и 0,4 кВ ТП 6/0,4 кВ, а также на каждом РП, ЩО и ЩАО.

В РУ-6 кВ используются шкафы высоковольтного ввода ШВВ.

Для РУ-0,4 кВ выбраны панели серии ЩО-01.

В РУ-6 кВ выбран выключатель ВНА-10/630. Далее выбираются предохранители 10 кВ. Выбирается предохранитель ПКТ-104-6-160-31,5 УЗ. Далее выбран трансформатор тока ТОЛ-СЭЩ 100/5.

В РУ-0,4 кВ выбран автоматический выключатель Э25С и разъединитель РЕ19-39 с номинальным током 630 А.

Далее выбраны трансформаторы тока в ячейки 0,4 кВ – Т-0,66 400/5.

В качестве щитов рабочего и аварийного освещения применяется распределительный щит ОЩВ-3-63-24.

В качестве распределительных пунктов применяются щиты типа ПР8501 с автоматическими выключателями ВА51-35.

В третьей главе рассматривается релейная защита системы электроснабжения. Защиты силового трансформатора ТМ-250/6/0,4 в РУ-6 кВ обеспечивает блок релейной защиты типа Seram 1000+ Т40.

Список используемых источников

1. Абрамова Е. Н. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие ОГУ 2012 г.
2. А.Н. Акимова, Н.Ф. Костеленец, И.И. Сентюрихин. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования. Учебник для СПО – М: Мастерство, 2015 – 296 с.,
3. Б. Н. Неклепаев. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб пособие/ Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. – 5–е изд., стер. – СПб: БХВ–Петербург, 2013. – 608 с.
4. В.М. Нестеренко, А.М. Мысьянов. Технология электромонтажных работ – Учебник для НПО М: ИРПО, ИЦ «Академия», 2016 – 593 с.
5. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 59 с.
6. ГОСТ 22483–77. Жилы токопроводящие медные и алюминиевые для кабелей, проводов и шнуров. Основные параметры. Технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 24 с.
7. ГОСТ 7746–2001. Трансформаторы тока. Общие технические условия. – Минск: Изд-во стандартов, 2001. – 29 с.
8. Н. П. Гужов, В. Я. Ольховский, Д. А. Павлюченко. Системы электроснабжения: учебник НГТУ 2015 г.
9. Калимуллина Р.М. Выбор сечения проводников по экономической плотности тока // Инновационная наука. 2016. №1. С. 55–56.
10. Почаевец В.С. Электрические подстанции: учебник Изд-во УМЦ ЖДТ (Маршрут) 2012 г.
11. Правила устройства электроустановок. – 7 –е тзд. – М.: НИЦ ЭНАС, 2006. – 552 с.
12. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указание по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования.

13. Сибикин Ю. Д. Электрические подстанции : Учебное пособие для высшего и среднего профессионального образования: учебное пособие Директ-Медиа 2014 г.
14. Стрельников Н. А. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие НГТУ 2013 г.
15. Указания по расчету электрических нагрузок [Текст]: РД 36.18.32.4-92: утв. РАО ЕЭС России, 30.07.1992: ввод в действие с 01.01.1993.
16. Халивин С.Л. Электроснабжение отрасли: учебно-справочное пособие / С.Л. Халивин, Е.И. Шайдарова; Норильский индустр. ин-т. Норильск: НИИ, 2011. - 110 с.
17. Шевченко Н.Ю. Проектирование системы электроснабжения цеха: учеб. пособие по выполнению курсового проекта / Н. Ю. Шевченко, К. Н. Бахтиаров. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2015. – 104 с
18. Абрютина, М.С. Анализ финансово-экономической деятельности предприятия / М.С. Абрютина, А.В. Грачев. - М.: Дело и сервис; Издание 3-е, перераб. и доп., 2012. - 272 с.
19. Suvorova I., Cherepanov V., Basmanov V. Peculiarity of Determination of Economic Current Density Values for 6–35 kv Power Lines Under Modern Conditions // Applied Mechanics and Materials. 2015. N792, pp. 300–304.
20. Vaskovskaya T.A. Possibility of Controlling Nonregulated Prices in the Electricity Market by Means of Varying the Parameters of a Power System // Thermal Engineering. 2014. N13, pp. 977–980.