

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 «Проектирование системы электроснабжения главного корпуса ООО
«Автокомпонент»»

Студент

С.А. Кузнецов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко

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

Тольятти 2020

Аннотация

В бакалаврской работе спроектирована система электроснабжения главного корпуса ООО «Автокомпонент». В ходе выполнения работы были определены нагрузки корпуса и входящего в него инструментального цеха. Выполнен расчет параметров системы искусственного освещения. Выбраны тип и мощность устанавливаемых на цеховой подстанции трансформаторов, определены параметры применяемых устройств компенсации реактивной мощности. Обоснован выбор схемы внутрицехового электроснабжения. Произведен расчет токов короткого замыкания. Выбраны проводники, защитные аппараты и другое электрооборудование системы электроснабжения корпуса. Выбранное оборудование проверялось на стойкость к токам короткого замыкания.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки объемом 57 страниц текста, который дополняют 12 таблиц и 10 рисунков и графической части, состоящей из 6 листов формата А1.

Содержание

Введение	4
1 Краткая характеристика объекта	5
2 Определение расчетных электрических нагрузок по корпусу, включая нагрузки системы электрического освещения	6
3 Выбор типа мощности силовых трансформаторов для установки на цеховых комплектных трансформаторных подстанциях корпуса. Определение необходимой мощности компенсирующих установок	21
4 Выбор схемы внутреннего электроснабжения корпуса	27
5 Выбор проводников и электрооборудования системы электроснабжения	29
6 Определение токов КЗ в сетях электроснабжения и проверка выбранных аппаратов	41
Заключение	54
Список используемых источников	55

Введение

Системой электроснабжения промышленного предприятия (СЭС ПП) называются взаимосвязанные электроустановки, необходимые для снабжения потребителей электроэнергией.

СЭС ПП принято делить на 3 условные подсистемы:

- подсистему внешнего электроснабжения к которой относятся линии от энергосистемы до ГПП промышленного предприятия, как правило номинальное напряжение этих линий составляет от 35 до 220 кВ;

- подсистему внутризаводского электроснабжения к которой относятся ГПП или ТЭЦ предприятия, сети напряжением 6 или 10 кВ от ГПП до высоковольтных распределительных пунктов или КТП;

- подсистему внутрицехового электроснабжения к которой относятся КТП, внутрицеховые сети 0,4 кВ, низковольтные распределительные пункты и шинопроводы.

СЭС ПП должна удовлетворять ряду требований:

- создание безопасных условий для проведения работ;
- обеспечение требуемой надежности по электроснабжению электроприемников;

- обеспечение потребителей электроэнергией соответствующей ГОСТ 32144-2013;

- баланс между малыми затратами на строительство и последующую эксплуатацию СЭС ПП;

- готовность к изменению технологического процесса без необходимости коренного переустройства;

- экологичность и минимизация негативного воздействия на окружающую среду [1-4].

Цель бакалаврской работы: проектирование системы электроснабжения ООО «Автокомпонент», позволяющей обеспечить надежное электроснабжение потребителей предприятия с минимальными издержками.

1 Краткая характеристика объекта

ООО «Автокомпонент» является одним из ведущих, надежных и проверенных поставщиков запчастей и изделий на конвейер Ульяновского автомобильного завода.

Предприятие занимается выпуском автомобильных сидений в сборе и запасных частей к ним, деталей тормозной системы автомобиля, каталитических нейтрализаторов выхлопных газов и систем выпуска отработанных газов в целом.

В главном корпусе предприятия располагается различное станочное оборудование по металлообработке, сварочные установки, подъемно-транспортное оборудование, вентагрегаты.

Номинальная мощность отдельных электроприемников корпуса находится в диапазоне от десятых долей до сотен киловатт. По режиму работы электроприемники корпуса делятся на две большие группы: электроприемники длительного режима работы к которым относится станочное оборудование по металлообработке и вентагрегаты и электроприемники повторно-кратковременного режима, к которым относятся сварочные установки и подъемно-транспортное оборудование, служащее для перемещения грузов.

Большая часть промышленного оборудования составляет нагрузку трехфазного исполнения, к однофазным нагрузкам относятся в основном осветительные установки и электроприемники офисно-бытового назначения, доля которых сравнительно мала.

По категории надежности электроснабжения электроприемники корпуса относятся к 1й и 2й категориям.

Выводы по разделу: дана краткая характеристика объекта.

2 Определение расчетных электрических нагрузок по корпусу, включая нагрузки системы электрического освещения

2.1 Определение расчетных нагрузок от силовых электроприемников

Расчет выполняем по методике, изложенной в [5-7]. Предварительно все электроприемники (ЭП) повторно-кратковременного режима работы приводим к длительному режиму. Расчет произведём на примере крана:

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}}, \quad (2.1)$$

$$P_{\text{ном}} = 3,94 \cdot \sqrt{0,4} = 2,49 \text{ кВт.}$$

По справочным данным для каждой группы ЭП определяем значения $k_{\text{и}}$ и $\cos\phi$.

Определяется значение активной мощности для каждой из групп ЭП:

$$P_{\text{н.}\Sigma} = P_{\text{ном}} \cdot n. \quad (2.2)$$

Для каждой из групп ЭП определяется значение среднесменной активной и реактивной нагрузки:

$$P_{\text{см}} = K_{\text{и}} \cdot P_{\text{н.}\Sigma}; \quad (2.3)$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\phi. \quad (2.4)$$

Для каждого узла нагрузки с учетом суммарных значений среднесменных нагрузок определяются средние значения коэффициента использования и мощности:

$$K_{\text{и}} = \frac{\Sigma P_{\text{см}}}{\Sigma P_{\text{н}}}, \quad (2.5)$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{\Sigma Q_{\text{см}}}{\Sigma P_{\text{см}}}. \quad (2.6)$$

Находим значение коэффициента m :

$$m = \frac{P_{\text{н.МАКС}}}{P_{\text{н.МИН}}}, \quad (2.7)$$

$$m = \frac{28}{2,5} = 11,2 \Rightarrow m > 3.$$

По указанным в пособии [8-9] формулам в зависимости от ступени системы электроснабжения определяем эффективное число электроприемников.

По справочным таблицам представленным в [8] находим значение коэффициента максимума $K_{\text{М}} = 2,2$.

Находим значения расчётных нагрузок:

$$P_{\text{р}} = K_{\text{М}} \cdot P_{\text{см}}, \quad (2.8)$$

$$P_{\text{р}} = 2,1 \cdot 22,6 = 47,4 \text{ кВт.}$$

При значении $n_{\text{э}} > 10$ реактивная расчетная нагрузка определяется по формуле:

$$Q_{\text{р}} = 1,1 \cdot Q_{\text{с}}, \quad (2.9)$$

$$Q_{\text{р}} = 1,1 \cdot 35,91 = 39,5 \text{ квар.}$$

Значение полной расчётной мощности находим по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.10)$$

$$S_p = \sqrt{47,4^2 + 39,5^2} = 61,72 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток находим по формуле в зависимости от расчетной полной мощности и номинального напряжения в узле нагрузки:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (2.11)$$

$$I_p = \frac{61,72}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 93,8 \text{ А.}$$

Расчеты по остальным шинопроводам и распределительным пунктам производим аналогично, результаты расчетов заносим в таблицу 2.1.

В таблице используются следующие сокращения в названиях промышленных станков: ТВС(ПТ) - токарно-винторезный повышенной точности; ТВС - токарно-винторезный; ШС - шлифовальный; ТВС(РФ) - токарно-винторезный с расширенным функционалом; ТС - токарный; АЗС - алмазно-заточный; ВФКС - вертикально-фрезерный консольный станок; ВФС - вертикально-фрезерный; КШС - кругло-шлифовальный; ВШС - внутри-шлифовальный; МПС - многозадачный плоскошлифовальный; ПС - плоскошлифовальный; МЗС - многозадачный заточный; МФС - многозадачный фрезерный; ОКС - отрезной круглопильный; КРС - координатно-расточный; ПС - профильный, НС - наждачный; СНС - настольный сверлильный; СВС - вертикально-сверлильный; КФС - копировально-фрезерный станок; РС - резальный; ТШС - точно-шлифовальный; ГФ - горизонтально-фрейзерный; ОС - отрезной.

Таблица 2.1 – Расчеты электрических нагрузок по шинопроводам и распределительным пунктам

Наименование ЭП	ПВ, %	P _{пас} , кВт	P _п , кВт	N, шт	P _{пΣ} , кВт	cosφ	Ки	m	N _э , шт	tgφ	P _{см} , кВт	Q _{см} , квар	K _м	P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	I _р , А
ШМА 1/7																	
ШРА 1/7-4																	
Кран	40	3,94	2,5	1	2,49	0,5	0,4			1,7	1	1,72					
ТВС(ПТ)			21	1	21	0,5	0,14			1,7	2,94	5,09					
ТВС			35	1	35	0,5	0,14			1,7	4,9	8,48					
ШС			23	1	23	0,5	0,14			1,7	3,22	5,57					
ТВС(РФ)			28	1	27,5	0,55	0,14			1,5	3,85	5,84					
ТС			12	2	23,6	0,6	0,14			1,3	3,3	4,40					
Пневматический аппарат			16	1	16	0,55	0,12			1,5	1,92	2,91					
АЗС			12	1	12	0,6	0,12			1,3	1,44	1,92					
Всего по ШРА 1/7-4								<3	9		22,6	35,9	2,1	47,4	39,5	61,7	93,8
ШРА 1/7-5																	
ТС			20	2	40	0,6	0,12			1,3	4,8	6,4					
ВФКС			18	1	18	0,65	0,16			1,2	2,88	3,36					
ВФС			14	2	28,4	0,6	0,16			1,3	4,54	6,05					
КШС			18	2	36	0,65	0,14			1,2	5,04	5,89					
ВШС			9	1	9	0,65	0,14			1,2	1,26	1,47					
Пылеудалитель			1,5	1	1,5	0,55	0,14			1,5	0,21	0,31					
Всего по ШРА 1/7-5								<3	9		18,7	23,5	2,2	41,1	25,8	48,6	73,9
ШРА 1/7-6																	
МПС			15	1	15	0,65	0,14			1,2	2,1	2,45					
ПС			12	1	12	0,65	0,14			1,2	1,68	1,96					

Продолжение таблицы 2.1

Наименование ЭП	ПВ, %	Рпас, кВт	Рп, кВт	N, шт	РпΣ, кВт	cosφ	Ки	m	№, шт	tgφ	Рсм, кВт	Qсм, квар	Км	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	Ip, А
ПС			18	4	72	0,65	0,14			1,2	10,1	11,7 8					
Пневматический аппарат			1,5	2	3	0,6	0,14			1,3	0,42	0,56					
Размагничиватель			51		51	0,55	0,2			1,5	10,2	15,4					
ПС с ЧПУ			18		18	0,6	0,6			1,3	10,8	14,4					
МЗС			3		3,03	0,6	0,12			1,3	0,36	0,48					
МЗС			0,8		0,75	0,6	0,12			1,3	0,09	0,12					
Всего по ШРА 1/7-6								>3	6		35,7	47,2	2,2	80,0	51,9	95,4	145
ШРА 1/7-7																	
МФС с ЧПУ			13	5	62,5	0,6	0,6			1,3	37,5	50					
Ножевой автомат			2,3	2	4,64	0,55	0,14			1,5	0,65	0,98					
ОКС			2,2		2,2	0,6	0,13			1,3	0,29	0,38					
Всего по ШРА 1/7-7								<3	8		38,4	51,3	1,5	58,4	56,5	81,2	123
Распредпункт 1/7-1																	
КРС			11	3	31,5	0,55	0,13			1,5	4,1	6,21					
Кран	40	3,94	1,6		1,58	0,5	0,5			1,7	0,79	1,36					
ПС			8		8	0,6	0,14			1,3	1,12	1,49					
НС			1,5		1,5	0,5	0,12			1,7	0,18	0,31					
КШС			13		12,5	0,65	0,12			1,2	1,5	1,75					
ШС			15		15	0,6	0,12			1,3	1,8	2,4					
Всего по распредпункту 1/7-1								>3	4		9,48	13,5	3,1	29,4	14,9	33	50,2
Распредпункт 1/7-2																	
Гидропресс			4		4	0,65	0,22			1,2	0,88	1,02					
Механический пресс			6,4		6,39	0,65	0,22			1,2	1,41	1,64					
СНС			1		0,95	0,45	0,14			2	0,13	0,26					

Продолжение таблицы 2.1

Наименование ЭП	ПВ, %	Рпас, кВт	Рn, кВт	N, шт	РnΣ, кВт	cosφ	Ки	m	Nэ, шт	tgφ	Рсм, кВт	Qсм, квар	КМ	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	Ip, А
СВС			4,1		4,12	0,5	0,14			1,7	0,58	0,99					
Сварочный полуавтомат			21	2	42	0,6	0,35			1,3	14,7	19,6					
ШС			4,5		4,5	0,4	0,14			2,3	0,63	1,44					
Электропечь			2		2	0,9	0,5			0,5	1	0,48					
Вентагрегат			1,1		1,1	0,8	0,7			0,8	0,77	0,57					
КФС			1,4		1,4	0,65	0,12			1,2	0,17	0,19					
Всего по распредпункту 1/7-2								>3	9		20,3	26,2	1,6	32,4	28,8	43,4	65,9
ШРА 1/7-1																	
РС			9	1	9	0,6	0,14			1,3	1,26	1,68					
РС			11	2	22	0,55	0,14			1,5	3,08	4,67					
Пресс			4,7	1	4,7	0,6	0,22			1,3	1,03	1,37					
ШС			12	1	11,5	0,5	0,14			1,7	1,61	2,78					
ТШС			5,3	1	5,3	0,55	0,14			1,5	0,74	1,12					
ВФС			7,5	1	7,5	0,65	0,14			1,2	1,05	1,22					
Сварочная установка			24	4	96	0,35	0,3			2,7	28,8	77					
Сварочная установка			35	2	70	0,35	0,3			2,7	21	56,2					
Автоматический комплекс			21	3	63	0,35	0,3			2,7	18,9	50,5					
Всего по ШРА 1/7-1								>3	1		77,5	196	1,8	142	216	259	393
ШРА 1/7-2																	
Конвейер			5	1	5	0,8	0,35			0,8	1,75	1,31					
ГФС			11	1	10,5	0,3	0,14			3,2	1,47	4,67					
РС			7,5	1	7,5	0,55	0,14			1,5	1,05	1,59					
ШС			3,7	1	3,7	0,5	0,14			1,7	0,52	0,89					

Продолжение таблицы 2.1

Наименование ЭП	ПВ, %	Рпас, кВт	Рп, кВт	N, шт	РпΣ, кВт	cosφ	Ки	m	Nэ, шт	tgφ	Рсм, кВт	Qсм, квар	КМ	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	Ip, А
Кабина для сверления в среде СО2			32	1	32	0,5	0,14			1,7	4,48	7,76					
Вентагрегат			5	3	15	0,8	0,8			0,8	12	9					
Сварочная установка			23	7	158	0,35	0,3			2,7	47,3	126					
Формировочный стенд			15	5	72,5	0,5	0,14			1,7	10,2	17,5					
ОС			6,3	1	6,3	0,5	0,14			1,7	0,88	1,52					
Всего по ШРА 1/7-2								>3	1 9		79,6	170	1,5	123	187	224	341
Всего по ШМА 1/7 ШМА 1/1														554	621	833	1266
Всего по ШМА 1/1 ШМА 1/3														421	513	664	995
Всего по ШМА 1/3														419	289	509	773
Распредпункт 2																	
Всего по распредпункту 2														157	109	191	291
Распредпункт 13																	
Всего по распредпункту 13														74,5	59	95	144
Всего по силовой нагрузке														1625	1591		
Осветительные установки														114	34		
Всего по КТП №1														1739	1591	2357	3585

Определение расчетных нагрузок по остальным трансформаторным подстанциям главного корпуса производим аналогично, а полученные результаты заносим в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты определения расчетных нагрузок по остальным трансформаторным подстанциям главного корпуса

Номер КТП	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
2	1398	1411	1986	3018
3	1681	1824	2480	3769
4	1322	1388	1903	2678
5	2700	3041	4067	6179

2.2 Определение нагрузок системы искусственного освещения корпуса

2.2.1 Выбор световых приборов

В офисных помещениях главного корпуса принимаем к установке светильники типа ALS.PRS 236 с электронной пускорегулирующей аппаратурой и двумя люминесцентными лампами по 36 Вт каждая. Внешний вид выбранного светильника приведен на рисунке 2.1



Рисунок 2.1–Внешний вид выбранного для офисных помещений светильника ALS.PRS 236

На рисунке 2.2 представлена кривая распределения силы света для выбранного светильника.

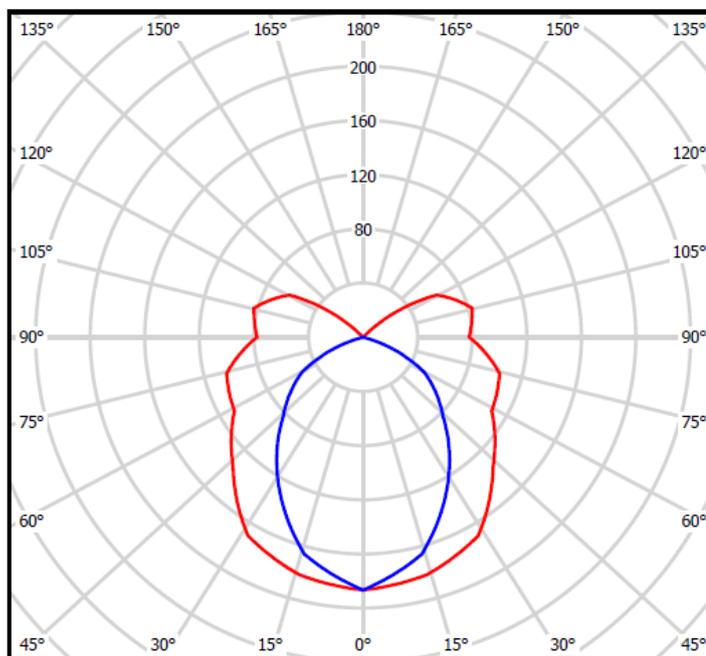


Рисунок 2.2 – Кривая распределения силы света для выбранного светильника ALS.PRS 236

К установке в основных помещениях корпуса, с учетом высоты потолков, превышающей 6 м выбраны к установке светильники типа HBS 400H с лампами фирмы OSRAM HQI-E-400. Внешний вид выбранного для производственных помещений светильника представлен на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3– Внешний вид выбранного для производственных помещений
светильника HBS 400H

На рисунке 2.4 представлена кривая распределения силы света для
выбранного для основных помещений корпуса светильника HBS 400H.

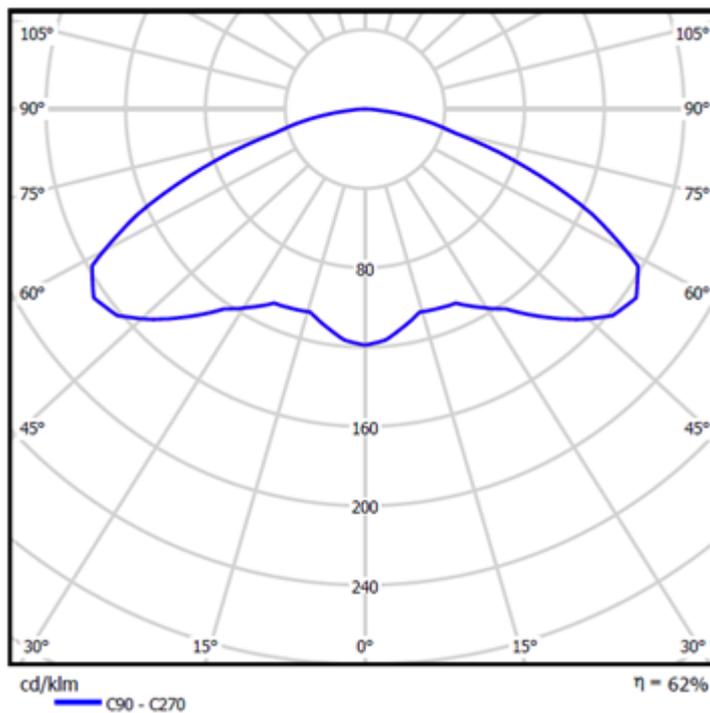


Рисунок 2.4 – Кривая распределения силы света для выбранного для
основных помещений корпуса светильника HBS 400H

2.2.2 Определение параметров и мощности системы освещения

В качестве примера выполним расчет параметров системы
искусственного освещения инструментального цеха.

Общее количество устанавливаемых светильников может быть
определено по формуле [10-12]:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}}, \quad (2.12)$$

Площадь помещения найдем, зная длину и ширину:

$$S = a \cdot b, \quad (2.13)$$

Исходя из требований СП 52.13330.2011 для помещения инструментального цеха принимается значение требуемой минимальной освещенности на уровне 300 лк.

Коэффициент запаса принимается равным 1.5, как для помещений с трехгодичным периодом обслуживания осветительных приборов.

Основываясь на данных о материалах и поверхности потолка стен и пола производственного помещения принимаем коэффициенты отражения 50, 30 и 10 процентов соответственно.

Определив необходимое количество светильников в помещении можно найти потребляемую системой освещения активную и реактивную мощности по формулам:

$$P_{\text{осв}} = N \cdot n \cdot P_{\text{л}}, \quad (2.14)$$

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \text{tg}\phi. \quad (2.15)$$

Расчеты были выполнены в программе DIALux. Результаты расчетов для инструментального цеха с нанесенными изолиниями освещенности представлены на рисунке 2.5.

Результаты расчетов значений потребляемой мощности другими производственными цехами представлены в таблице 2.3.

Для обозначения производственных цехов используются следующие обозначения из плана предприятия: АЦ - арматурный цех; ИЦ - инструментальный цех; ВП - вспомогательные помещения; СЦ - сварочный цех; ЦСС - цех сборки сидений; УК - участок катанки; СГП - склад готовой продукции; СК - склад комплектующих; УСЗ - участок содержания зданий; УС - участок сборки; ЦОР - цех оперативного ремонта.

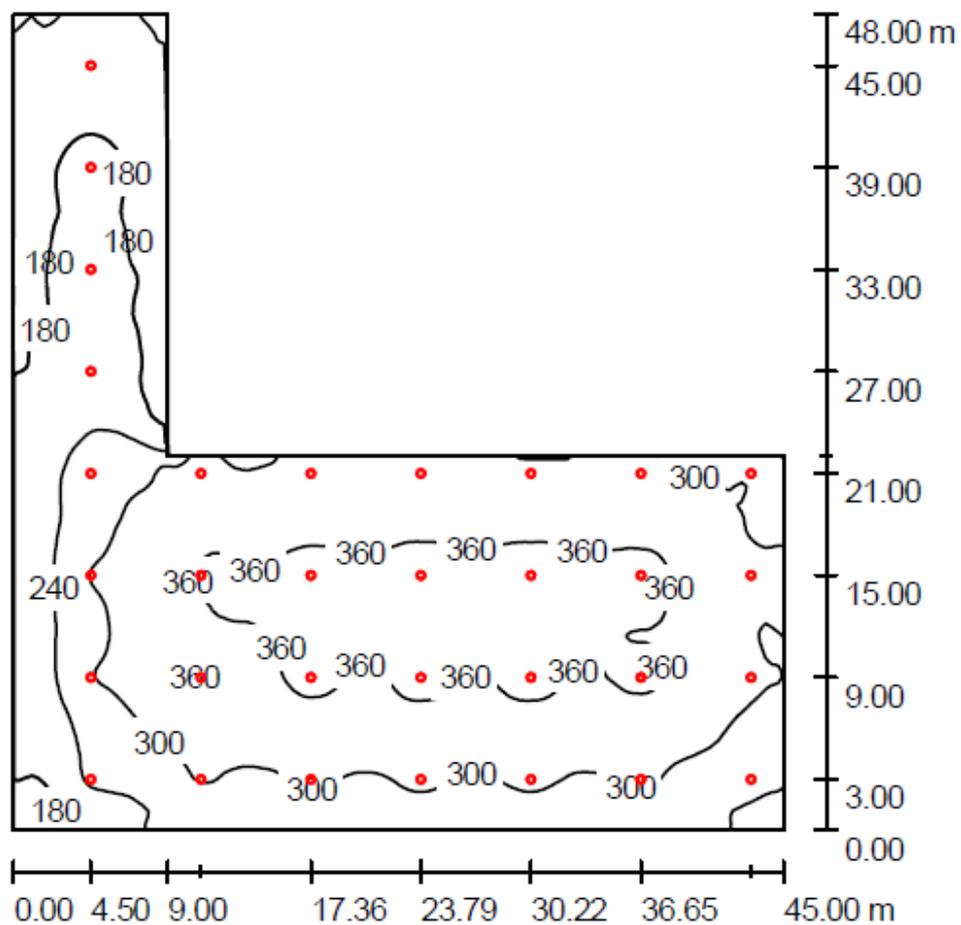


Рисунок 2.5 – Результаты расчетов для инструментального цеха с нанесенными изолиниями освещенности

Таблица 2.3 – Результаты расчетов значений потребляемой мощности производственными цехами предприятия

Краткое обозначение производственного цеха	Росв, кВт	Qосв, квар
АЦ	49,2	14,76
ИЦ	47,6	14,28
ВП	17,64	5,027
Всего по осветительной нагрузке на ТП1	114,44	34,067

Продолжение таблицы 2.3

Краткое обозначение производственного цеха	Росв, кВт	Qосв, квар
ВП	69,2	20,76
СЦ	65,6	19,68
ЦСС	47,2	14,16
Всего по осветительной нагрузке на ТП2	182	54,6
УК	57,2	17,16
СГП	9,6	2,88
ВП	7,776	2,216
Всего по осветительной нагрузке на ТП3	74,576	22,256
СК	123,4	37,02
УСЗ	36,4	10,92
ВП	9,2	2,76
Всего по осветительной нагрузке на ТП4	70,4	21,12
УС	54,8	16,44
ЦОР	67,2	20,16
ВП	16,02	4,566
Всего по осветительной нагрузке на ТП5	138,02	41,166

2.2.3 Определение параметров освещения безопасности

Освещение безопасности – это система освещения, необходимая для завершения рабочего процесса при аварийном отключении системы основного рабочего освещения, для предотвращения возникновения опасности для жизни и здоровья людей и повреждения технологического оборудования.

Минимальная освещенность рабочей поверхности в производственном помещении должна составлять 5% от установленной СП 52.13330.2011 для системы рабочего освещения:

$$E_{ав} = 0,05 \cdot E_n ; \quad (2.16)$$

$$E_{ав} = 0,05 \cdot 300 = 15 \text{ лк.}$$

Освещение безопасности выполняем при помощи светодиодных светильников LIndustry 120 с автономным аккумуляторным блоком.

На рисунке 2.6 приведен план расположения светильников.

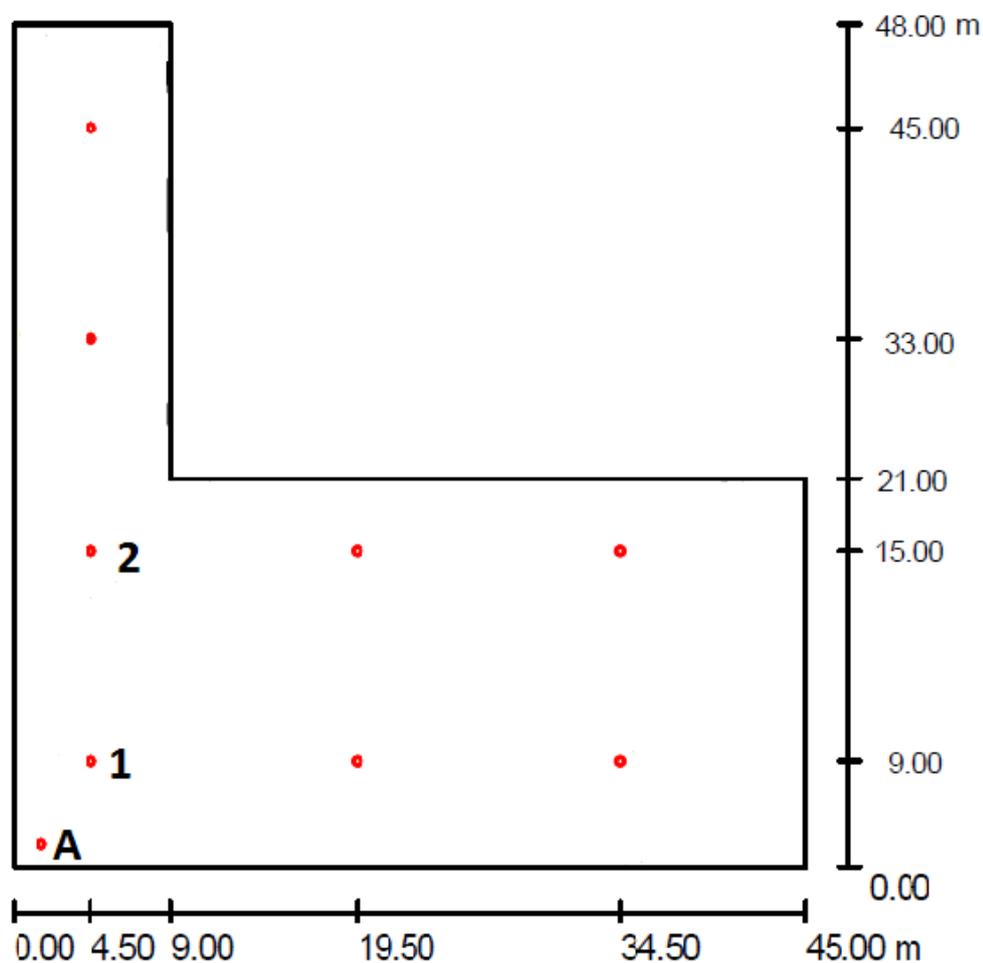


Рисунок 2.6 – План расположения светодиодных светильников LIndustry 120

Уровень освещенности в контрольной точке А выполним по точечному методу:

$$E_A = \frac{\Phi \cdot \mu \cdot \Sigma e}{1000 \cdot k}, \quad (2.17)$$

Расчеты выполним в программе DIALux. Результаты расчетов освещенности от системы аварийного освещения для инструментального цеха с нанесенными изолиниями представлены на рисунке 2.7.

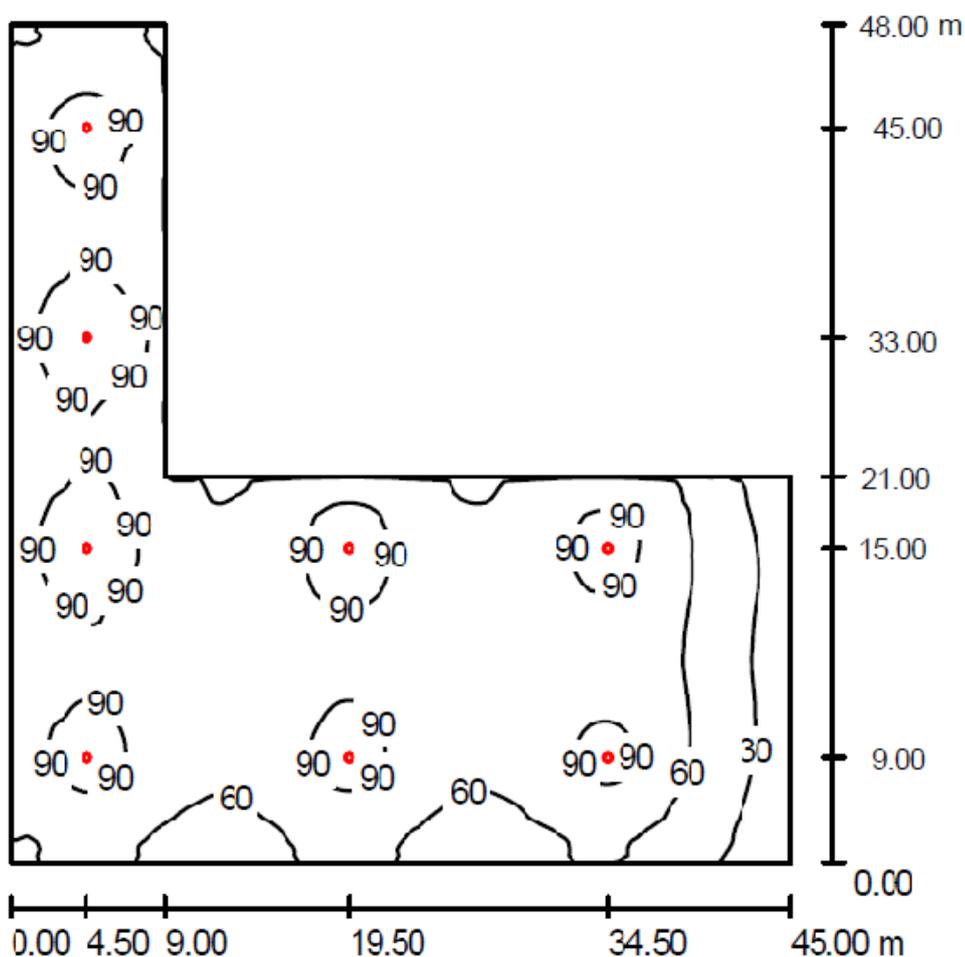


Рисунок 2.7 – Результаты расчетов освещенности от системы аварийного освещения для инструментального цеха

По результатам расчетов уровень освещенности в точке А составил 60 лк, что выше минимально допустимого значения 30 лк.

Выводы по разделу: определены расчетные электрические нагрузки по корпусу, включая нагрузки системы электрического освещения.

3 Выбор типа мощности силовых трансформаторов для установки на цеховых комплектных трансформаторных подстанциях корпуса. Определение необходимой мощности компенсирующих установок

3.1 Выбор числа и мощности трансформаторов

Подстанции этого класса напряжения, как правило, выполняются комплектными за исключением случаев применения промышленных подстанций с числом трансформаторов более двух или городских подстанций, размещаемых в кирпичных или бетонных зданиях [13-14].

Для промышленных предприятий рекомендуются подстанции промышленного типа. Их преимущества:

- возможность установки в цехах открыто или с простейшими сетчатыми ограждениями;
- возможность установки на открытом воздухе в модульных зданиях;
- РУ 0,4 кВ может быть выполнено с любым числом отходящих линий;
- возможность подключения комплектных шинопроводов непосредственно к шинам 0,4 кВ РУ.

К недостаткам можно отнести исполнение только с устройством высокого напряжения (УВН), которое всегда выполняется по блочной схеме с коммутационными аппаратами (или без них) в цепи трансформатора.

Поскольку на предприятии большую долю нагрузки составляют потребители II категории и кроме того имеется группа электроприемников, относящихся к I категории по надежности электроснабжения, то выбираем для установки двухтрансформаторные подстанции с устройством АВР на стороне низкого напряжения.

Произведем определение необходимой мощности трансформаторов на ТП №4. Исходные данные для расчета, полученные в разделе 2 данной

работы представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Исходные данные по нагрузке ТП №4

	$P_{см}, \text{кВт}$	$Q_{см}, \text{квар}$	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p, \text{кВА}$
Силовая нагрузка	646	1185	1208	1304	1784
Нагрузка системы искусственного освещения	114	34	114	34	119
Всего то ТП №4	707	1216	1322	1388	1903

Номинальную мощность силового трансформатора КПП определим по формуле:

$$S_{н.Т} \geq \frac{P_{см}}{N \cdot K_3}, \quad (3.1)$$

$$S_{н.Т} \geq \frac{707}{2 \cdot 0.7}, \quad (3.2)$$

$$S_{н.Т} \geq 505 \text{ кВА.}$$

Предварительно принимаем к установке на ТП №4 два трансформатора типа ТМГ – 630/10.

Выполним проверку по перегрузке трансформатора в послеаварийном режиме:

$$1,4S_n \geq P_p, \quad (3.3)$$

$$1,4 \cdot 630 \geq 1322;$$

$$819 \geq 1322.$$

Условие проверки не выполняется, поэтому для дальнейшего рассмотрения принимается следующий по шкале номинальных мощностей трансформатор ТМГ – 1000/10.

Выполним его проверку по перегрузке в послеаварийном режиме:

$$1,4S_n \geq P_p, \quad (3.4)$$
$$1,4 \cdot 1000 \geq 1322;$$
$$1400 \geq 1322.$$

Условие проверки выполняется.

Найдем значение фактического коэффициента загрузки трансформаторов КТП:

$$K_{з.д} = \frac{P_p}{N \cdot S_{н.т}}, \quad (3.5)$$
$$K_{з.д} = \frac{1322}{2 \cdot 1000} = 0,66.$$

3.2 Выбор мощности компенсирующих устройств на КТП

В таблице 3.2 приведены расчетные данные по нагрузкам каждой из секций КТП №4.

Уровень компенсации реактивной мощности, а, следовательно, и мощность конденсаторных установок определяются следующими требованиями и ограничениями:

- запасом по пропускной способности силовых трансформаторов КТП и величиной перегрузки в послеаварийном режиме работы;
- поддержанием установленного коэффициента мощности в целях поддержания уровня напряжения или выполнения требований к ограничению перетоков реактивной мощности.

Таблица 3.2 – Расчетные данные по нагрузкам каждой из секций КТП №4

Узлы нагрузки по секциям	$P_{см}, \text{кВт}$	$Q_{см}, \text{квар}$	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p, \text{кВА}$
СШ 1					
ШМА 2/1	225	467	422	514	664
Распредпункт 2	84	100	157	110	192
Распредпункт 13	40	54	75	59	95
Всего по СШ 1	349	620	653	682	951
СШ 2					
ШМА 2/7	297	565	555	622	834
Осветительные установки	114	34	114	34	119
Всего по СШ 2	411	599	669	656	952

Необходимая мощность КУ исходя из необходимости выполнения первого условия:

$$Q_{ку.тр1} = Q_p - Q_1, \quad (3.6)$$

где Q_1 - величина РМ, допустимая к передаче при соблюдении требуемого коэффициента загрузки трансформатора:

$$Q_1 = \sqrt{(K_3 \cdot S_{н.т})^2 - P_p^2}. \quad (3.7)$$

Необходимая мощность КУ исходя из необходимости выполнения второго условия:

$$Q_{ку.тр2} = Q_p - Q_2, \quad (3.8)$$

где Q_3 – часть экономической РМ, которая потребляется в период максимальной нагрузки ЭЭС

$$Q_3 = \operatorname{tg}\varphi_3 \cdot P_p, \quad (3.9)$$

С учетом участия в компенсации РМ синхронных двигателей напряжением 10 кВ, установленных на компрессорной и насосной станциях величину коэффициента мощности принимаем равной $\operatorname{tg}\varphi_3 = 0,3$.

Из двух найденных значений принимаем большее значение.

Для СШ1:

$$Q_1 = \sqrt{(0,7 \cdot 1000)^2 - 653^2} = 256 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{ку.тр1}} = 682 - 256 = 426 \text{ квар},$$

$$Q_3 = 0,3 \cdot 653 = 196 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{ку.тр1}} = 682 - 196 = 486 \text{ квар}.$$

Для установки секции шин 1 трансформаторной подстанции №4 принимаем автоматическую конденсаторную установку типа АУКРМ-0,4-500-50-10.

Для СШ2:

$$Q_1 = \sqrt{(0,7 \cdot 1000)^2 - 669^2} = 206 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{ку.тр1}} = 656 - 206 = 450 \text{ квар},$$

$$Q_3 = 0,3 \cdot 669 = 201 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{ку.тр1}} = 599 - 201 = 398 \text{ квар}.$$

Для установки секции шин 2 трансформаторной подстанции №4 принимаем автоматическую конденсаторную установку типа АУКРМ-0,4-

450-50-9.

На остальных трансформаторных подстанциях главного корпуса расчет мощности трансформаторов и устройств компенсации реактивной мощности производим аналогичным образом, а результаты заносим в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты расчетов мощности трансформаторов и устройств компенсации реактивной мощности на трансформаторных подстанциях главного корпуса

№ КТП главного корпуса	$S_{\text{ном.Т}}$, кВА	$Q_{\text{кв}}$, квар	
		СШ 1	СШ 2
1	1600	500	450
2	1600	750	750
3	1600	700	750
5	2500	1000	750

Выводы по разделу: выбраны тип и мощность силовых трансформаторов для установки на цеховых комплектных трансформаторных подстанциях корпуса и конденсаторные установки к ним.

4 Выбор схемы внутреннего электроснабжения корпуса

«Силовые сети принято делить на питающие и распределительные. Питающая сеть – это сеть от РУ 0,4 – 0,69 кВ ТП до низковольтных устройств распределения электроэнергии: распределительных щитов, шкафов распределительных, щитов станций управления и т.д. Распределительная сеть – это сеть от низковольтных устройств распределения электроэнергии до электроприемников. Питающие и распределительные сети выполняются по радиальным, магистральным и смешанным схемам» [15-17].

Радиальные схемы распределения электроэнергии рекомендуется применять в следующих случаях [18]:

- во взрывоопасных, пожароопасных и пыльных производствах;
- для питания индивидуальных электроприемников: электродвигателей, электропечей, электросварочных установок и т.п.;
- для питания низковольтных устройств распределения электроэнергии, если они расположены в разных направлениях от источника питания

Электропроводки при радиальных схемах обычно выполняют кабелем или проводами. Недостатком радиальных схем является недостаточная гибкость, при всяких перемещениях технологического оборудования требуется переделка сетей. Кроме того, РУ 0,4 – 0,69 кВ ТП получаются громоздкими, дорогими, с большим количеством коммутационных аппаратов.

Магистральные схемы находят применение при нагрузках, распределенных по площади цеха. Выполняются они чаще всего шинпроводами. Такие схемы надежны, универсальны, позволяют производить перестановку производственно-технологического оборудования в цехах без существенного изменения электрических сетей [18].

Магистральные и распределительные шинпровода серий ШМА и

ШРА предназначены для работы в электрических сетях напряжением 0,38 и 0,66 кВ промышленных предприятий, коммерческих и административных зданий. Магистральные шинопроводы выпускаются на токи от 1000 до 4000 А, предусматривают подсоединение к ним распределительных шинопроводов через ответвительные секции. Распределительные шинопроводы выпускаются на токи от 250 до 630 А, имеют большое количество ответвлений для подключения отходящих линий через ответвительные коробки» [18].

Выпускаемые серии [18]:

- магистральные ШМА4 – четырехпроводные и ШМА5 – пятипроводные;
- распределительные ШРА-4 – четырехпроводные и ШРА5 – пятипроводные.

Четырехпроводные шинопроводы имеют три шины фаз и нулевой рабочий проводник N, в качестве которого используется корпус секций шинопровода. Пятипроводные шинопроводы имеют четыре шины: три фазные и нулевую рабочую шину N. Корпус секций шинопровода играет роль нулевого защитного проводника PE [18].

Шинопроводы набираются из отдельных секций: прямых, угловых, тройниковых и др. Для магистральных шинопроводов предусматриваются ответвительные секции с автоматическими выключателями на токи 1250, 1600, 2500, 3200 А. Возможно исполнение ответвительных секций без выключателей. Ответвления от распределительных шинопроводов выполняются с помощью ответвительных коробок, встраиваемых в прямые секции шинопроводов. Токи ответвлений могут иметь значения от 25 до 400 А. Номенклатура ответвительных коробок предусматривает коробки с предохранителями, разъединителями, автоматическими выключателями [18].

Для электроснабжения ЭП главного корпуса выбираем магистральную схему с питанием отдельных ЭП от распределительных шинопроводов и распределительных пунктов, получающих питание от магистральных

шинопроводов.

Выводы по разделу: выбрана схема внутреннего электроснабжения корпуса.

5 Выбор проводников и электрооборудования системы электроснабжения

Выбранные силовые трансформаторы размещаем в КТП производства завода «Электроцит Самара» типа КТП-СЭЩ-П.

В комплектных трансформаторных подстанциях устанавливаются: силовые трансформаторы типа ТМГ; выключатели нагрузки типа ВНА-10-630-20; автоматические выключатели типа ВА-СЭЩ и трансформаторы тока типа ТОП-0,66 и ТШП-0,66.

Для передачи электрической энергии от ГПП до КТП главного корпуса применяются кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена типа АПвВ.

Выбор сечений кабелей производится по нагреву с учетом поправочных коэффициентов [19-21]:

$$I_p \leq I_{\text{доп}}, \quad (5.1)$$

При этом длительно допустимый ток в линии определим с учетом поправочного коэффициента:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп}}^{\text{табл}} \cdot K_n, \quad (5.2)$$

Расчетный ток по каждому узлу питания находим как

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (5.3)$$

В качестве распределительных шинопроводов выбираем шинопроводы типа Е-LINEKB.

Питание электроприемников осуществляется при помощи кабеля ВВГнг.

Для каждого отдельного электроприемника определяем его номинальный ток:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi} . \quad (5.4)$$

Результаты выбора проводников для ТП №1: распределительных шинопроводов, групповых и индивидуальных кабельных линий сведены в таблицы 5.1 и 5.2.

Выбор проводников для остальных ТП главного корпуса производим аналогичным образом.

Таблица 5.1 – Результаты выбора кабелей

Наименование ЭП	R _{ном} , кВт	tg φ	Q _{ном} , квар	I _{расч} , А	Ид.доп, А	Число жил x сечение жилы, мм ²
ШРА 2/7-4						
Кран	2,49	1,73	4,31	7,56	26	4x2,5
ТВС(ПТ)	11,87	1,73	20,56	36,06	46	4x6
ТВС	9,1	1,73	15,76	27,65	34	4x4
ШС	13	1,52	19,74	35,91	46	4x6
ТВС(РФ)	11,8	1,33	15,73	29,87	34	4x4
ТС	2,2	1,52	3,34	6,08	19	4x1,5
Пневматический аппарат	2,2	1,33	2,93	5,57	19	4x1,5
ШРА 2/7-5						
ТС	20	1,33	26,67	50,64	61	4x10
ВФКС	18	1,17	21,04	42,07	46	4x6
ВФС	14,2	1,33	18,93	35,95	46	4x6
КШС	18	1,17	21,04	42,07	46	4x6

Продолжение таблицы 5.1

Наименование ЭП	R _{ном} , кВт	tg φ	Q _{ном} , квар	I _{расч} , А	Ид.доп, А	Число жил x сечение жилы, мм ²
ВШС	9	1,17	10,52	21,03	26	4x2,5
Пылеудалитель	1,5	1,52	2,28	4,14	19	4x1,5
ШРА 2/7-6						
МПС	15	1,17	17,54	35,06	46	4x6
ПС	7,8	1,17	9,12	18,23	26	4x2,5
ПС	18	1,17	21,04	42,07	46	4x6
Пневматический аппарат	1,5	1,33	2,00	3,80	19	4x1,5
Размагничиватель	36	1,52	54,67	99,43	107	4x25
ПС с ЧПУ	3,03	1,33	4,04	7,67	19	4x1,5
МЗС	0,75	1,33	1,00	1,90	19	4x1,5
ШРА 2/7-7						
МФС с ЧПУ	5	1,33	6,67	12,66	19	4x1,5
Ножевой автомат	2,32	1,52	3,52	6,41	19	4x1,5
ОКС	2,2	1,33	2,93	5,57	19	4x1,5
Распредпункт 2/7-1						

Продолжение таблицы 5.1

Наименование ЭП	Рном, кВт	tg φ	Qном, квар	Iрасч, А	Ид.доп, А	Число жил x сечение жилы, мм ²
КРС	10,5	1,52	15,94	29,00	34	4x4
Кран	2,81	1,52	4,27	7,76	19	4x1,5
ПС	2,49	1,73	4,31	7,56	19	4x1,5
НС	2,36	1,33	3,15	5,97	19	4x1,5
КШС	0,25	1,73	0,43	0,76	19	4x1,5
ШС	5,5	1,17	6,43	12,85	19	4x1,5
КРС	5,5	1,33	7,33	13,92	19	4x1,5
Распредпункт 2/7-2						
Гидропресс	4	1,17	4,68	9,35	19	4x1,5
Механический пресс	6,39	1,169	7,47	14,93	19	4x1,5
СНС	0,95	1,985	1,89	3,21	19	4x1,5
СВС	4,12	1,732	7,14	12,52	19	4x1,5
Сварочный полуавтомат	24,5	1,333	32,67	62,3	81	4x16
ШС	4,5	2,291	10,31	17,09	19	4x1,5
Электродпечь	2	0,484	0,97	3,38	19	4x1,5

Таблица 5.2 – Результаты выбора магистральных шинопроводов и кабелей для групповых сетей

Линия	Ирасч, А	Ид.доп, А	Кабель (шинопровод)
от ГПП до ТП №1	56,16	148	АПВВ 3х35
ШМА 1/7	1266	1600	КВА1651
ШМА 1/1	995	1000	КВА1051
ШМА 1/3	773	800	КВА0851
ОРП 1	72,3	359	АПВВГ 5х35
от ТП до распределителя 2	291	306	АПВВГ 4х70
от ТП до распределителя 13	144	151	АПВВГ 4х50
Распределитель 2	291,68	307	ПР8501-140
Распределитель 13	144,39	151	ПР8501-140

5.1 Проверка выбранных проводников на предельные потери напряжения

Согласно требований ГОСТ 32144-2013 предельно допустимые отклонения напряжения не должны превышать $\pm 10\%$ от номинального значения.

Выполним расчет потерь напряжения до универсального фрезерного станка с ЧПУ, получающим питание от ШРА 2/7-7. Уровень напряжения на зажимах ЭП определим по формуле:

$$U_{\text{дв}} = U_x - \Delta U_T - \Delta U_c, \quad (5.5)$$

Найдем величину потерь напряжения в силовом трансформаторе:

$$\Delta U_T = K_3 \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi), \quad (5.6)$$

«Активная составляющая напряжения КЗ» [1]:

$$U_a = \frac{\Delta P_k}{S_n} \cdot 100, \quad (5.7)$$

$$U_a = \frac{2,65}{160} \cdot 100 = 1,66\% .$$

«Реактивная составляющая напряжения КЗ» [13]:

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2}, \quad (5.8)$$

$$U_p = \sqrt{4,5^2 - 1,66^2} = 4,18\% .$$

$$\Delta U_T = 0,66 \cdot (1,66 \cdot 0,7 + 4,18 \cdot 0,71) = 2,47\% .$$

Найдем величину потерь напряжения в линии:

$$\Delta U_c = \frac{\sqrt{3} I_p \cdot L}{U_{л}} (r_0 \cdot \cos \phi + x_0 \cdot \sin \phi) \cdot 100\%, \quad (5.9)$$

$$\Delta U_c = \frac{\sqrt{3} \cdot 15,4}{0,38} (0,00125 \cdot 0,84 + 0,1 \cdot 0,29) \cdot 100\% = 2,55\%.$$

Определим значение напряжение на зажимах электроприемника по формуле 5.5:

$$U_{дв} = 105 - 2,85 - 2,55 = 99,6\%.$$

Уровень напряжения находится в установленных ГОСТ 32144-2013 пределах.

5.2 Выбор автоматических выключателей

Номинальный ток расцепителя АВ для защиты групповой линии выбираем путем сравнения с расчётным током линии:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (5.10)$$

Номинальный ток расцепителя АВ для защиты линии к одиночному электроприемнику выбираем путем сравнения с номинальным током линии:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \phi}. \quad (5.11)$$

Результаты выбора АВ для ЭП запитанных от ТП №1 приведен в таблице 5.3. Для защиты ЭП выбираем АВ типа ВА-СЭЩ. Выводы по разделу: выполнен выбор проводников и электрооборудования.

Таблица 5.3 – Результаты выбора АВ для защиты линий к одиночным ЭП

Наименование ЭП	Ирасч, А	Тип АВ	Ином.выкл., А
Кран	7,56	TS100	12
ТВС(ПТ)	36,06	TS100	50
ШС	27,65	TS100	32
ТВС(РФ)	35,91	TS100	50
ТС	29,87	TS100	32
Пневматический аппарат	6,08	TS100	6,3
АЗС	5,57	TS100	6,3
ТС	50,64	TS100	63
ВФКС	42,07	TS100	50
ВФС	35,95	TS100	50
КШС	42,07	TS100	50
ВШС	21,03	TS100	32

Продолжение таблицы 5.3

Наименование ЭП	Ирасч, А	Тип АВ	Ином.выкл., А
Пылеудалитель	4,14	TS100	6,3
МПС	35,06	TS100	50
ПС	18,23	TS100	20
ПС	42,07	TS100	50
Пневматический аппарат	3,80	TS100	6,3
Размагничиватель	99,43	TS160	100
ПС с ЧПУ	7,67	TS100	12
МЗС	1,90	TS100	3,2
МФС с ЧПУ	12,66	TS100	20
Ножевой автомат	6,41	TS100	12
ОКС	5,57	TS100	6,3
КРС	29,00	TS100	32
Кран	7,76	TS100	12
ПС	7,56	TS100	12

Продолжение таблицы 5.3

Наименование ЭП	Расч, А	Тип АВ	Ином.выкл., А
НС	5,97	ВА-СЭЦ-TS100	6,3
КШС	0,76	ВА-СЭЦ-TS100	3,2
ШС	12,85	ВА-СЭЦ-TS100	20
КРС	13,92	ВА-СЭЦ-TS100	20
Гидропресс	9,35	ВА-СЭЦ-TS100	12
Механический пресс	14,93	ВА-СЭЦ-TS100	20
СНС	3,21	ВА-СЭЦ-TS100	6,3
СВС	12,52	ВА-СЭЦ-TS100	20
Сварочный полуавтомат	62,3	ВА-СЭЦ-TS100	63
ШС	17,09	ВА-СЭЦ-TS100	20
Электropечь	3,38	ВА-СЭЦ-TS100	6,3
Вентагрегат	2,09	ВА-СЭЦ-TS100	3,2
КФС	3,27	ВА-СЭЦ-TS100	6,3

Таблица 5.4 – Выбор автоматических выключателей в питающей сети

Линия	Ирасч, А	Тип АВ	Ином.выкл., А	Ирасц.выкл., А
Вводной АВ	1730	АН-25D	2500	2000
ШМА 1/7	1266	АН-16D	1600	1300
ШМА 1/1	995	АН-10D	1000	1000
ШМА 1/3	773	АН-10D	1000	800
Распредпункт 2	291	АН-10D	1000	300
Распредпункт 13	144	АН-10D	1000	150
ОРП	353	АН-06D	630	400
Секционный	1210	АН-16D	1600	1600

6 Определение токов КЗ в сетях электроснабжения и проверка выбранных аппаратов

6.1 Определение токов КЗ в сети выше 1000 В

Значение мощности короткого замыкания задано ЭЭС – 120 МВА. На рисунке 6.1 приведена расчетная схема для определения токов КЗ и ее схема замещения.

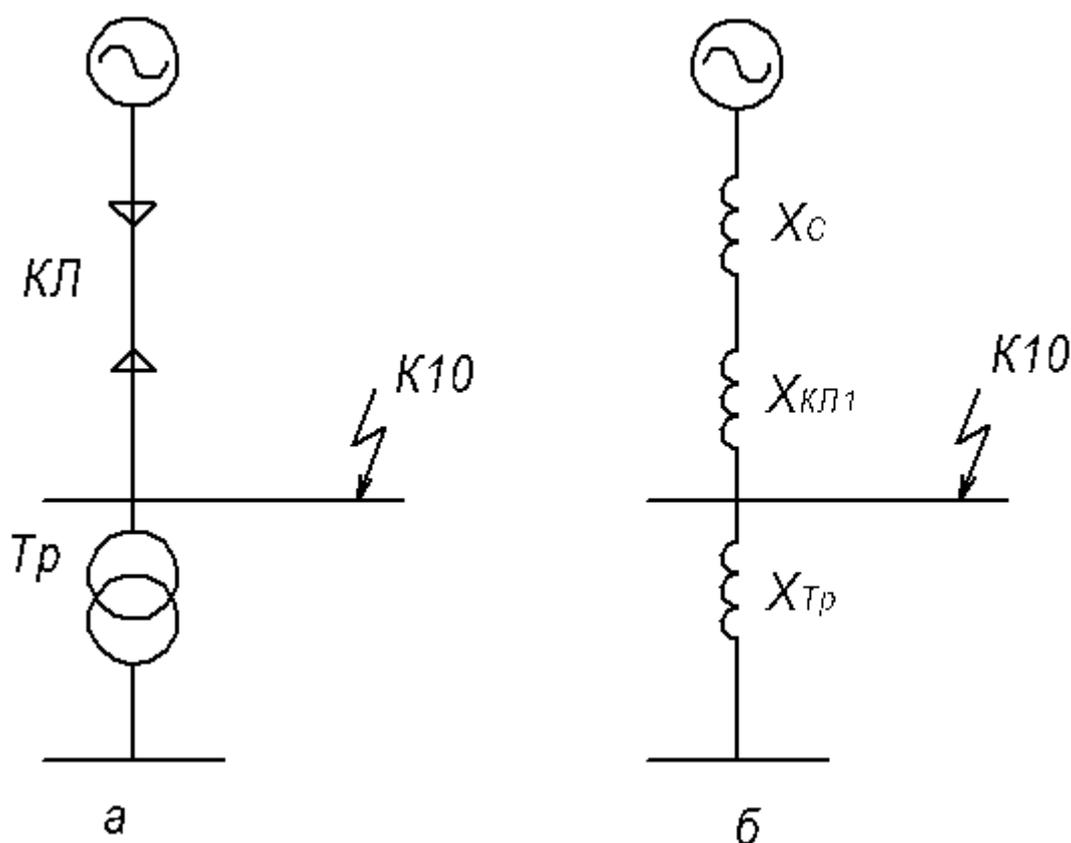


Рисунок 6.1 – Расчетная схема (рисунок а) для определения токов КЗ и ее схема замещения рисунок б

Выполним расчет тока КЗ на стороне ВН трансформатора ТП №5. Найдем значения сопротивлений на схеме замещения:

$$*X_{c(6)} = \frac{S_6}{S_K} = \frac{100}{120} = 0,83 \text{ о.е.}; \quad (6.1)$$

$$*X_{л(6)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_H^2} = 0,214 \cdot 0,339 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,066 \text{ о.е.}; \quad (6.2)$$

$$X_{\Sigma K10} = X_c + X_{кл} = 0,5 + 0,066 = 0,566 \text{ о.е.}; \quad (6.3)$$

Определим величину тока трехфазного короткого замыкания:

$$I_{K10}^{(3)} = \frac{1}{X_{\Sigma K10}} = \frac{1}{0,556} = 1,79 \text{ о.е.}; \quad (6.4)$$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_H} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ о.е.}; \quad (6.5)$$

$$I_{K10,KA}^{(3)} = I_{K10}^{(3)} \cdot I_6 = 1,79 \cdot 5,5 = 9,845 \text{ кА}. \quad (6.6)$$

Определим величину ударного тока КЗ:

$$i_{уд.к10} = K_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K10}^{(3)} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,79 = 4,01 \text{ о.е.}; \quad (6.7)$$

$$i_{уд.к10,KA} = i_{уд.к10} \cdot I_6 = 3,54 \cdot 5,5 = 19,49 \text{ кА}. \quad (6.8)$$

На остальных ТП определение токов КЗ в сети 10 кВ выполним аналогичным образом.

6.2 Определение токов КЗ в сети ниже 1000 В

На рисунке 6.2 приведена расчетная схема для определения токов КЗ в сети ниже 1000 В и ее схема замещения, изображенная на рисунке 6.3.

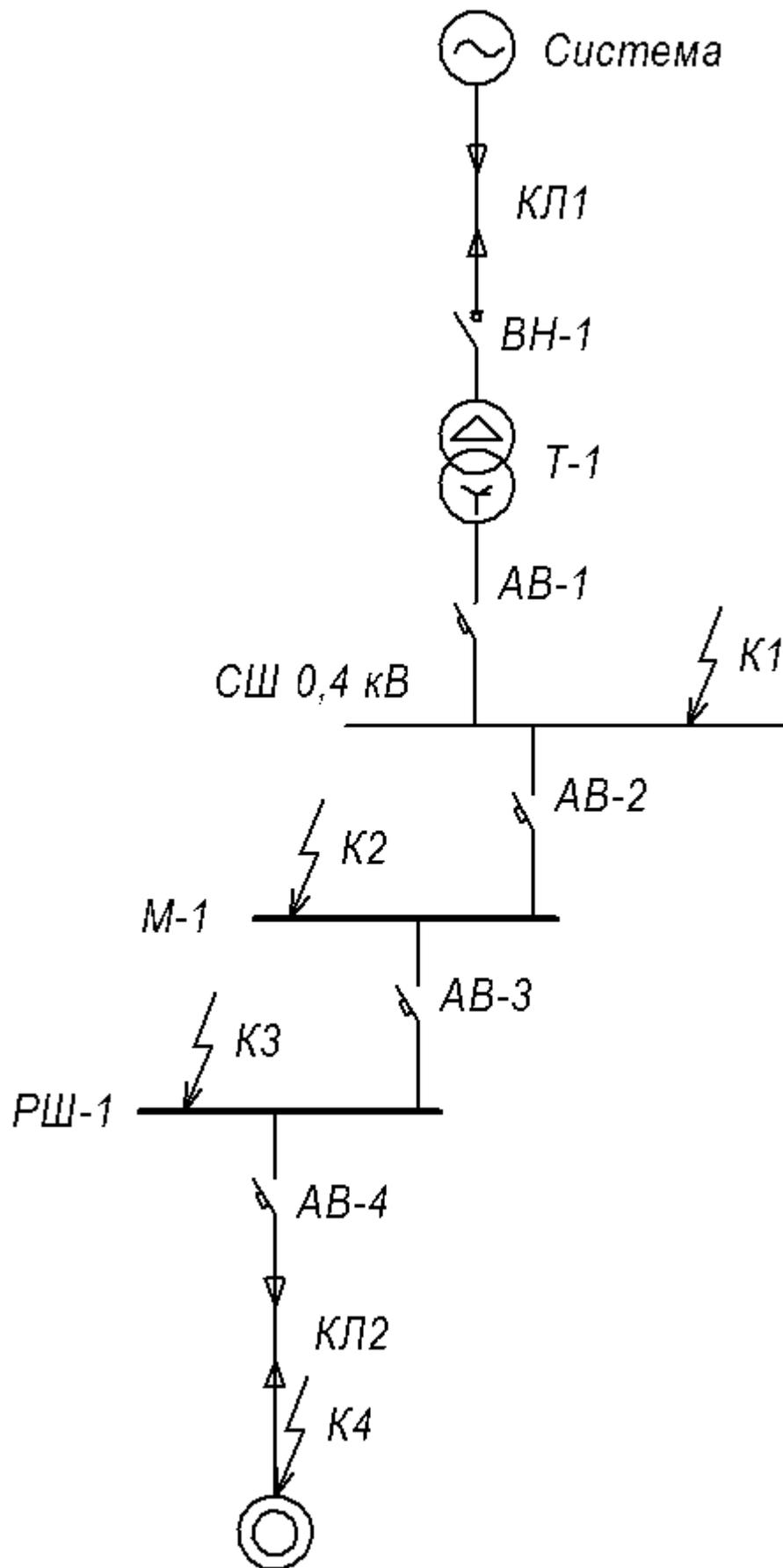


Рисунок 6.2 – Расчетная схема для определения токов КЗ в сети ниже 1000 В

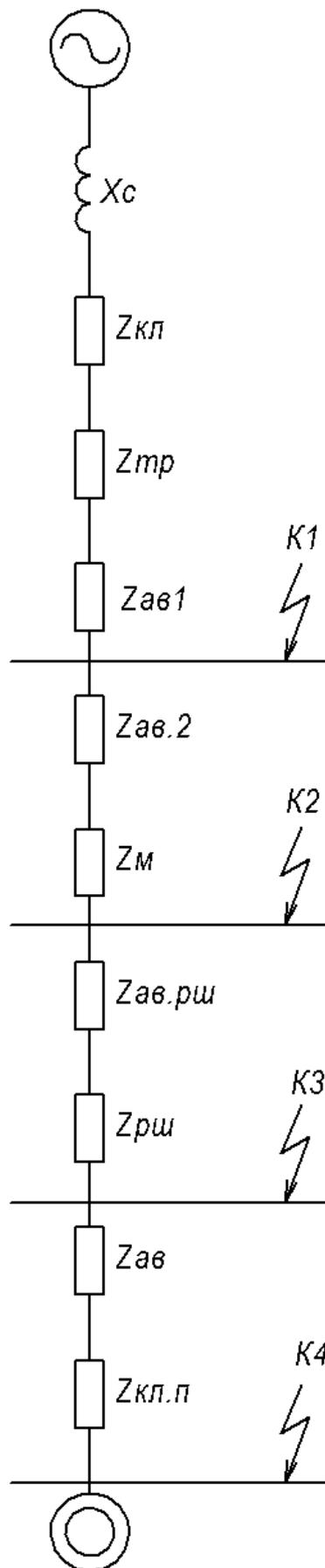


Рисунок 6.3 – Схема замещения для определения токов КЗ в сети ниже
1000 В

6.2.1 Параметры элементов расчётной схемы и определение их сопротивлений

Кабель КЛ1:

$$l = 339 \text{ м};$$

$$R_{\text{уд}} = 0,035 \text{ мОм/м};$$

$$X_{\text{уд}} = 0,024 \text{ мОм/м};$$

$$R_{\text{КЛ1}} = R_{\text{уд}} \cdot l = 0,035 \cdot 339 = 11,87 \text{ мОм}; \quad (6.9)$$

$$X_{\text{КЛ1}} = X_{\text{уд}} \cdot l = 0,024 \cdot 339 = 8,136 \text{ мОм}; \quad (6.10)$$

Силовой трансформатор КТП Т1:

тип –ТМГ, номинальная мощность – 2500 кВА, напряжение ВН – 10 кВ, схема соединения обмоток треугольник / звезда с нулем;

$$S_{\text{H}} = 2500 \text{ кВА};$$

$$U_{\text{HВН}} = 10,5 \text{ кВ}; \quad U_{\text{HНН}} = 0,4 \text{ кВ};$$

$$U_{\text{к}} = 6 \text{ \%}; \quad P_{\text{кз}} = 24 \text{ кВт}.$$

$$R_{\text{T}} = \frac{P_{\text{кз}} \cdot U_{\text{HНН}}^2}{S_{\text{H}}^2} 10^6 = \frac{24 \cdot 0,4^2}{2500^2} 10^6 = 0,614 \text{ мОм}; \quad (6.11)$$

$$Z_{\text{T}} = \frac{U_{\text{к}} \cdot U_{\text{HНН}}^2}{S_{\text{H}}} 10^4 = \frac{6 \cdot 0,4^2}{2500} 10^6 = 3,84 \text{ мОм}; \quad (6.12)$$

$$X_{\text{T}} = \sqrt{Z_{\text{T}}^2 - R_{\text{T}}^2} = 3,77 \text{ мОм}. \quad (6.13)$$

Вводной АВ (АВ1):

$$\text{ВА-СЭЩ AS-40-6, } I_{\text{H}} = 4000 \text{ А};$$

$$R_{\text{АВ1}} = 0,1 \text{ мОм};$$

$$X_{AB1} = 0,05 \text{ мОм.}$$

AB на отходящей линии (AB2):

ВА-СЭЩ AS-06-40, $I_H = 1600 \text{ A}$;

$$R_{AB2} = 0,14 \text{ мОм};$$

$$X_{AB2} = 0,08 \text{ мОм.}$$

ШМА1:

КВА1651 ($I_{ном} = 1600 \text{ A}$);

$$l = 36,8 \text{ м};$$

$$R_{уд} = 0,03 \text{ мОм/м};$$

$$X_{уд} = 0,014 \text{ мОм/м};$$

$$R_{M1} = 36,8 \cdot 0,03 = 1,1 \text{ мОм};$$

$$X_{M1} = 36,8 \cdot 0,014 = 0,515 \text{ мОм.}$$

AB на ШМА (AB3):

ВА-СЭЩ-TS630, $I_H = 630 \text{ A}$;

$$R_{AB3} = 0,41 \text{ мОм};$$

$$X_{AB3} = 0,13 \text{ мОм.}$$

ШРА1:

КОА 0654 ($I_{ном} = 600 \text{ A}$)

$$l = 9,5 \text{ м};$$

$$R_{уд} = 0,1 \text{ мОм/м};$$

$$X_{уд} = 0,1 \text{ мОм/м};$$

$$R_{\text{ШП}} = 9,5 \cdot 0,1 = 0,95 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{ШП}} = 9,5 \cdot 0,1 = 0,95 \text{ мОм}.$$

АВ на ШРА (АВ4):

ВА-СЭЩ-TS100, $I_H = 63 \text{ А}$;

$$R_{\text{АВ3}} = 3,5 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{АВ3}} = 2 \text{ мОм}.$$

Кабель от ШРА к ЭП (КЛ2):

тип кабеля ВВГ – 4x10

$$l = 2,8 \text{ м};$$

$$R_{\text{уд}} = 2,4 \text{ мОм/м};$$

$$X_{\text{уд}} = 0,084 \text{ мОм/м};$$

$$R_{\text{КЛ2}} = 2,8 \cdot 2,4 = 6,72 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{КЛ2}} = 2,8 \cdot 0,084 = 0,235 \text{ мОм}.$$

Найдем сопротивление системы:

$$X_c = \frac{U_B}{S_{\text{кз.сис}}} \times 1000 = \frac{0,4^2}{120} \times 1000 = 1,33 \text{ мОм}. \quad (6.14)$$

Определим токи КЗ в точке К1.

Величина тока трехфазного металлического короткого замыкания:

$$I_{\text{КМ}}^{(3)} = \frac{U_{\text{НН}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{U_{\text{НН}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}. \quad (6.15)$$

Определим суммарные активное и индуктивное сопротивления до точки К1:

$$R_{\Sigma K1} = R_{K11} + R_T + R_{AB1} = 11,87 + 0,717 + 0,1 = 12,69 \text{ мОм}; \quad (6.16)$$

$$X_{\Sigma K1} = X_{K11} + X_T + X_{AB1} = 8,136 + 3,84 + 0,05 = 12 \text{ мОм}. \quad (6.17)$$

Найдем значение полного суммарного сопротивления элементов, входящих в схему замещения до точки К1:

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2} = \sqrt{12,69^2 + 12^2} = 17,47 \text{ мОм}. \quad (6.18)$$

Определим величину тока трехфазного металлического короткого замыкания в точке К1:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 17,47} = 13,23 \text{ кА}. \quad (6.19)$$

Определим величину ударного тока короткого замыкания в точке К1:

$$i_{уд} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1}^{(3)}, \quad (6.20)$$

$$i_{уд} = 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot 13,23 = 26,11 \text{ кА}.$$

Определим токи КЗ в точке К2.

Определим суммарные активное и индуктивное сопротивления до точки К2:

$$R_{\Sigma K2} = R_{\Sigma K1} + R_{AB2} + R_{M1} = 13,93 \text{ мОм}; \quad (6.21)$$

$$X_{\Sigma K2} = X_{\Sigma K1} + X_{AB2} + X_{M1} = 12,595 \text{ мОм}; \quad (6.22)$$

Найдем значение полного суммарного сопротивления элементов, входящих в схему замещения до точки К2:

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{R_{\Sigma K2}^2 + X_{\Sigma K2}^2} = 18,78 \text{ мОм}; \quad (6.23)$$

Определим величину тока трехфазного металлического короткого замыкания в точке К2:

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 18,78} = 12,31 \text{ кА}; \quad (6.24)$$

Определим величину ударного тока короткого замыкания в точке К2:

$$\frac{X_{\Sigma K2}}{R_{\Sigma K2}} = 0,9 \Rightarrow K_{yK2} = 1,1; \quad (6.25)$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot K_{yK2} \cdot I_{K2}^{(3)} = 19,14 \text{ кА}. \quad (6.26)$$

Определим токи К3 в точке К3.

Определим суммарные активное и индуктивное сопротивления до точки К3:

$$R_{\Sigma K3} = R_{\Sigma K2} + R_{AB3} + R_{PIII} = 15,29 \text{ мОм}; \quad (6.27)$$

$$X_{\Sigma K3} = X_{\Sigma K2} + X_{AB3} + X_{PIII} = 13,675 \text{ мОм}; \quad (6.28)$$

Найдем значение полного суммарного сопротивления элементов, входящих в схему замещения до точки К3:

$$Z_{\Sigma K3} = \sqrt{R_{\Sigma K3}^2 + X_{\Sigma K3}^2} = 20,51 \text{ мОм}; \quad (6.29)$$

Определим величину тока трехфазного металлического короткого замыкания в точке К3:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{H HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 20,51} = 11,27 \text{ кА}; \quad (6.30)$$

Определим величину ударного тока короткого замыкания в точке К3:

$$\frac{X_{\Sigma K3}}{R_{\Sigma K3}} = 0,89 \Rightarrow K_{y K3} = 1,1; \quad (6.31)$$

$$i_{y K3} = \sqrt{2} \cdot K_{y K3} \cdot I_{K3}^{(3)} = 17,53 \text{ кА}. \quad (6.32)$$

Определим токи К3 в точке К4.

Определим суммарные активное и индуктивное сопротивления до точки К4:

$$R_{\Sigma K4} = R_{\Sigma K3} + R_{AB4} + R_{KJL2} = 25,51 \text{ мОм}; \quad (6.33)$$

$$X_{\Sigma K4} = X_{\Sigma K3} + X_{AB4} + X_{KJL2} = 15,91 \text{ мОм}; \quad (6.34)$$

Найдем значение полного суммарного сопротивления элементов, входящих в схему замещения до точки К4:

$$Z_{\Sigma K4} = \sqrt{R_{\Sigma K4}^2 + X_{\Sigma K4}^2} = 30,06 \text{ мОм}; \quad (6.35)$$

Определим величину тока трехфазного металлического короткого замыкания в точке К4:

$$I_{K4}^{(3)} = \frac{U_{H HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K4}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 20,51} = 7,69 \text{ кА}; \quad (6.36)$$

Определим величину ударного тока короткого замыкания в точке К4:

$$\frac{X_{\Sigma K4}}{R_{\Sigma K4}} = 0,62 \Rightarrow K_{yK4} = 1,1; \quad (6.37)$$

$$i_{yK4} = \sqrt{2} \cdot K_{yK3} \cdot I_{K3}^{(3)} = 11,92 \text{ кА}. \quad (6.38)$$

На остальных ТП главного корпуса расчеты токов КЗ производим по указанной выше методике, а результаты расчетов заносим в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты расчетов токов КЗ на остальных ТП главного корпуса

Номер ТП	K_1 , кА	K_2 , кА	K_3 , кА	K_4 ,кА	K_{10} , кА
1	18,27	17,84	17,01	15,46	16,47
2	14,07	13,24	12,11	9,56	12,17
3	17,58	16,97	15,17	12,46	13,28
4	16,84	15,55	13,24	11,54	13,24

6.3 Проверка выбранных АВ стойкость к токам КЗ

По рассчитанному в пункте 6.1 значению ударного тока КЗ выше 1000 В выполняется проверка выключателя нагрузки типа ВНА-СЭЩ, установленного на ТП. По паспортным данным предельный ток динамической стойкости выключателя составляет 50 кА:

$$i_{yK10} = 19,49 \text{ кА} \leq i_{yВН} = 50 \text{ кА}.$$

По рассчитанному в пункте 6.2 значению ударного тока КЗ в точке К4 выполняется проверка автоматического выключателя типа ВА-СЭЩ-TS100, который защищает линию к сварочному роботу. По паспортным данным

предельный ток динамической стойкости автоматического выключателя составляет 20 кА:

$$K4: \quad i_{yK4} = 11,92 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 20 \text{ кА}.$$

Выполнение условия показывает, что выключатель выбран верно.

По рассчитанному в пункте 6.2 значению ударного тока КЗ в точке К3 выполняется проверка автоматического выключателя типа ВА-СЭЦ-TS630, который защищает распределительный шинопровод. По паспортным данным предельный ток динамической стойкости автоматического выключателя составляет 35 кА:

$$K3: \quad i_{yK3} = 17,53 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 35 \text{ кА}.$$

Выполнение условия показывает, что выключатель выбран верно.

По рассчитанному в пункте 6.2 значению ударного тока КЗ в точке К3 выполняется проверка автоматического выключателя типа ВА-СЭЦ AS-06-40, который защищает магистральный шинопровод. По паспортным данным предельный ток динамической стойкости автоматического выключателя составляет 85 кА:

$$K2: \quad i_{yK2} = 19,14 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 85 \text{ кА}.$$

Выполнение условия показывает, что выключатель выбран верно.

По рассчитанному в пункте 6.2 значению ударного тока КЗ в точке К3 выполняется проверка вводного автоматического выключателя типа ВА-СЭЦ АН-40Е. По паспортным данным предельный ток динамической стойкости автоматического выключателя составляет 100 кА:

$$K1: i_{yK1} = 26,11 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 100 \text{ кА}.$$

Выполнение условия показывает, что выключатель выбран верно.

Результаты проверки АВ на остальных ТП главного корпуса сведем в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Результаты проверки АВ на остальных ТП главного корпуса

№ точки КЗ	АВ	Ином, А	ідин, кА	іуд, кА
ТП-1				
1	АН-25Е	2500	100	18,27
2	АН-08D	800	80	17,84
3	TS630	630	35	17,07
4	TS100	63	20	15,46
ТП-2				
1	АН-25Е	2500	100	14,07
2	АН-16D	1600	80	13,24
3	TS630	630	30	12,4
4	TS100	63	20	9,56
ТП-3				
1	АН-25Е	2500	100	17,58
2	АН-16D	1600	80	16,97
3	TS630	630	35	15,17
4	TS100	63	20	12,46
ТП-4				
1	АН-25Е	2500	100	16,84
2	АН-16D	1600	80	15,55
3	TS630	630	35	13,24
4	TS100	63	20	11,54

Выводы по разделу: произведен расчет токов КЗ.

Заключение

В результате выполнения бакалаврской работы была спроектирована система электроснабжения ООО «Автокомпонент», позволяющая обеспечить надежное электроснабжение потребителей предприятия с минимальными издержками.

Был произведен расчет нагрузок по ТП главного корпуса. Выбраны светильники для офисных помещений и основных производственных помещений корпуса. Выполнены расчеты системы искусственного освещения в программе DIALux, что позволило спроектировать систему освещения, удовлетворяющую требованиям СП 52.13330.2011. Определены параметры освещения безопасности. Выбраны количество и мощность силовых трансформаторов на КТП главного корпуса предприятия. Для каждого из трансформаторов выбраны автоматические конденсаторные установки типа АУКРМ. Для электроснабжения ЭП главного корпуса выбрана магистральная схема с питанием отдельных ЭП от распределительных шинопроводов и распределительных пунктов, получающих питание от магистральных шинопроводов.

Выбранные силовые трансформаторы размещаются в КТП производства завода «Электрощит Самара» типа КТП-СЭЩ-П. В КТП устанавливаются: силовые трансформаторы типа ТМГ; выключатели нагрузки типа ВНА-10-630-20; автоматические выключатели типа ВА-СЭЩ и трансформаторы тока типа ТОП-0,66 и ТШП-0,66.

Для передачи электрической энергии от ГПП до КТП главного корпуса применяются кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена типа АПвВ.

Выполнен расчет токов короткого замыкания, по результатам которого выбранные выключатели нагрузки и автоматические выключатели проверены на электродинамическую стойкость.

Список используемых источников

1. Правила устройства электроустановок. - 7-е изд., Сибирское университетское издательство, 2013г.
2. Бартоломей П.А. Информационное обеспечение задач электроэнергетики: учебное пособие, 2-е изд., стер. М.: Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. 108 с.
3. Непомнящий В.А. Экономические потери от нарушений электроснабжения потребителей [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. 188 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/72323> (дата обращения: 25.04.2020).
4. Kuffel E., Zaengl W.S., Kuffel J. High Voltage Engineering. Fundamentals. Oxford: Newnes, 2014. 539 p.
5. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник. М.: Феникс, 2018. 382 с.
6. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. М.: Форум, 2015. 368 с.
7. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С. Основы электроснабжения. Учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 173 с.
8. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 05.05.2020).
9. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 46 с. URL: <https://dspace.tltsu.ru/bitstream/>

123456789/2943/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 01.05.2020).

10. Chapman S.J. Instructor's Manual to accompany Electric Machinery and Power System Fundamentals, Second Edition. USA: McGraw-Hill, 2011. 307 p.

11. Сазонова Т.В., Шлейников В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учебное пособие. М.: Бибком, 2016. 110 с.

12. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий [Электронный ресурс]: учебник. 5-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2019. 405 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1003810> (дата обращения: 23.03.2020).

13. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2019. 496 с.

14. Вахнина В.В., Черненко А.Н., Самолина О.В., Рыбалко Т.А. Проектирование осветительных установок [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 107 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/3383/1/Vahnina%20Chernenko%20Samolina%20Ribalko_%20EUI_Z.pdf (дата обращения: 19.04.2020).

15. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов [Электронный ресурс]: Учебное пособие. 2-е изд. М.:Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 352 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/494251> (дата обращения 25.04.2020).

16. Rajan R., Fernandez F.M. Power control strategy of photovoltaic plants for frequency regulation in a hybrid power system // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2019. №110. pp. 171-183.

17. Rajendra P. Fundamentals of electrical engineering. - PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 1064 p.

18. Матаев У.М. Практикум по электроэнергетике (в примерах с решениями) : учебное пособие. Алматы: Нур-Принт, Казахский национальный аграрный университет, 2014. 195 с.

19. Хорольский В.Я., Таранов М.А., Петров Д.В. Технико-экономические расчеты распределительных электрических цепей: учебное пособие. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 96 с.

20. Кудряков А.Г., Сазыкин В.Г. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебник. Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. 263 с.

21. Sahdev S.K. Basic Electrical Engineering. Pearson India, 2015. 768 p.