

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 производственного цеха ООО «АСТ Системы»

Студент

А. Г. Кроль

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Л. Спиридонов

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

Тольятти 2020

АННОТАЦИЯ

В работе рассмотрена оптимизация системы электроснабжения производственного цеха ООО «АСТ Системы». Выпускная работа состоит из пояснительной записки на 69 листах формата А4, включает 15 таблиц, 5 рисунков. Работа структурно включает в себя введение, девять глав основной части, заключение и список из 25 источников литературы, в том числе 5 источников на иностранном языке и графической части на 6 листах формата А1.

Ключевым вопросом выпускной работы является проектирование системы электроснабжения производственного цеха ООО «АСТ Системы». Затронута проблема электроснабжения производственного цеха предприятия с выбором современного оборудования, а также светодиодного энергоэффективного освещения.

Целью работы является разработка проекта системы электроснабжения производственного цеха ООО «АСТ Системы» с разработкой электрического освещения цеха светодиодными светильниками, выбором основного электрооборудования цеха.

Подводя итоги, следует подчеркнуть, что данная работа актуальна не только в решении проблемы электроснабжения производственного цеха ООО «АСТ Системы», а также подобные технологические и конструктивные решения могут быть применены для электроснабжения производственных цехов на всех предприятиях Российской Федерации.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Общие сведения о ООО «АСТ Системы»	6
1.1 Характеристика нового производственного цеха ООО «АСТ Системы»	6
1.2 Перечень электроприемников цеха и их технические характеристики ...	8
2 Расчет электрических нагрузок производственного цеха ООО «АСТ Системы».....	10
2.1 Расчет освещения цеха	10
2.2 Расчет ожидаемых электрических нагрузок производственного цеха...	16
3 Выбор трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.....	23
4 Выбор и обоснование схемы электроснабжения производственного цеха .	28
5 Расчет токов короткого замыкания	29
6 Расчет и выбор электрооборудования и проводников	32
6.1 Выбор силового электрооборудования выше 1000 В, проводников и способа их прокладки	32
6.2 Выбор силового электрооборудования до 1000 В, проводников и способа их прокладки	34
6.3 Выбор типа осветительных щитов, проводов и способа их прокладки .	42
7 Проверка селективности работы автоматических выключателей	44
7.1 Расчёт релейной защиты кабеля от КТП до РП-1	44
7.2 Расчёт релейной защиты сборных шин 0,4 кВ	46
7.3 Расчёт релейной защиты трансформатора на стороне 0,4 кВ	49
7.4 Релейная защита трансформатора	52
8 Выбор системы защитного заземления ТП	55
9 Молниезащита здания производственного цеха	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	67
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ	68

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в качестве основных потребителей электроэнергии выступают различные промпредприятия. СЭС данных заводов включает в себя электросети напряжением до и выше 1000 В, подстанции различных классов напряжения и предназначена для обеспечения требований производства посредством подачи электрической энергии от ГПП данных заводов до места потребления в требуемом количестве.

Оптимально спроектированная и правильно выполненная современная система электроснабжения промышленного предприятия должна удовлетворять следующим требованиям: надежность, экономичность, безопасность, удобство в обслуживании и эксплуатации, обеспечение надлежащего качества электроэнергии у каждого отдельного потребителя.

Основная задача, которая решается при исследовании, разработке проектов, сооружении и эксплуатации СЭС промпредприятий заключается в оптимизации параметров данных СЭС посредством верного выбора напряжений, определения и размещения электрических нагрузок на территории, числа, мощности и расположения ТП предприятия и отдельных цехов, напряжения в точке передачи электрической энергии, других параметров источников питания.

Актуальность темы ВКР заключается в том, что для возможности работы нового производственного цеха ООО «АСТ Системы» необходимо разработать проект системы его электроснабжения.

Поэтому целью работы является разработка проекта системы электроснабжения производственного цеха ООО «АСТ Системы».

Для проектирования системы электроснабжения производственного цеха ООО «АСТ Системы» необходимо решить следующие задачи:

- привести общие сведения о ООО «АСТ Системы»;
- рассчитать электрические нагрузки производственного цеха ООО «АСТ Системы»;

- выбрать трансформаторные подстанции с учетом компенсации реактивной мощности;
- выбрать и обосновать схемы электроснабжения производственного цеха;
- рассчитать токи короткого замыкания;
- рассчитать и выбрать электрооборудование и проводники;
- проверить селективность работы автоматических выключателей;
- выбрать систему защитного заземления ТП;
- разработать молниезащиту здания производственного цеха.

1 Общие сведения о ООО «АСТ Системы»

1.1 Характеристика нового производственного цеха ООО «АСТ Системы»

Российское Производственное Объединение «Албес» производит строительные материалы. Производимыми материалами выполняется наружная и внутренняя отделка в сооружениях и зданиях. Изготавливаются алюминиевые и стальные изделия холодным прокатом из листовой оцинкованной стали или алюминия в широком сорimente. В составе РПО «Албес» находятся такие компании как: ООО «Торговый дом «Албес Центр», ООО «АСП-Технолоджи», ООО «АСТ Системы».

Крупнейшей производственной компанией, которая входит в состав РПО «Албес» является ООО «АСТ Системы». Предприятие выпускает широкую номенклатуру строительного профиля. Изготовление данного профиля осуществляется при использовании технологии холодного проката и штамповки из тонколистовой оцинкованной стали или алюминия.

Компания по ассортименту, качеству и объемам выпускаемой продукции занимает лидирующие позиции в РФ и странах СНГ на рынке строительного-отделочных материалов благодаря постоянному поиску новых решений, многолетнему опыту, мощной производственной базе, оперативности в исполнении заказов.

Выпускаемая компанией продукция достаточно широкого ассортимента включает различные модификации алюминиевых кассетных и реечных потолков, стеновую облицовочную рейку, профили для ГВЛ и ГКЛ и комплектующие к ним, стеновую рейку для облицовки, металлосайдинг. Производимая компанией продукция удовлетворяет самые изысканные запросы благодаря качеству и широкой цветовой гамме, а также постоянно обновляющемуся ассортименту.

На сегодняшний день ООО «АСТ Системы» является высокопроизводительным современным предприятием, имеющим развитую

дилерскую сеть, большой штат специалистов высокого профессионального уровня и полный технологический производственный цикл.

Продукция, выпускаемая ООО «АСТ Системы» соответствует разработанным технологическим условиям, сертифицирована в РФ, включая и допуск использования в спортивных, лечебно-профилактических, общеобразовательных и медицинских учреждениях.

В рассматриваемом в данной работе производственном цехе планируется выпускать строительные материалы, которые используются в зданиях и сооружениях для отделки как внутри, так и снаружи. Выпускаться будут стальные и алюминиевые изделия широкой номенклатуры, изготовление которых осуществляется холодным прокатом из листовой, крашенной в заводских условиях оцинкованной стали и алюминия, а также планируется изготовление фасадных и потолочных систем. В помещении основного производства размещено все технологическое оборудование цеха и там производятся все виды работ, которые выполняет цех.

Остальные помещения являются вспомогательными. Часть из них предназначена для хранения оборудования и материалов, а также различного инструмента – это складское помещение и инвентарная. В других помещениях размещаются сотрудники производственного цеха: в кабинете мастера – мастер цеха, в комнате рабочих – работники цеха, в офисе – бухгалтерия и ИТР.

Характеристика помещений цеха приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Характеристика помещений цеха

Помещение	Ен, лк	h, м	А, м	В, м	По степени опасности поражения людей электротоком	Категория по взрыво- и пожароопасности
Основное производство	200	4,7	48	36	Помещение без повышенной опасности (ПО)	Д
Комната рабочих	150	2,2	6	6	Помещение без ПО	Д
Офис	150	2,2	6	6	Помещение без ПО	Д
Инвентарная	100	2,2	6	6	Помещение без ПО	Д
Комната мастера	300	2,2	6	6	Помещение без ПО	Д
Складское помещение	75	4,7	3	12	Помещение без ПО	Д
Цеховая КТП	150	4,7	6	6	Помещение с ПО	В-4
Венткамера	100	4,7	6	3	Помещение без ПО	Д

1.2 Перечень электроприемников цеха и их технические характеристики

План производственного цеха ООО «АСТ Системы» представлен на рисунке 1.1.

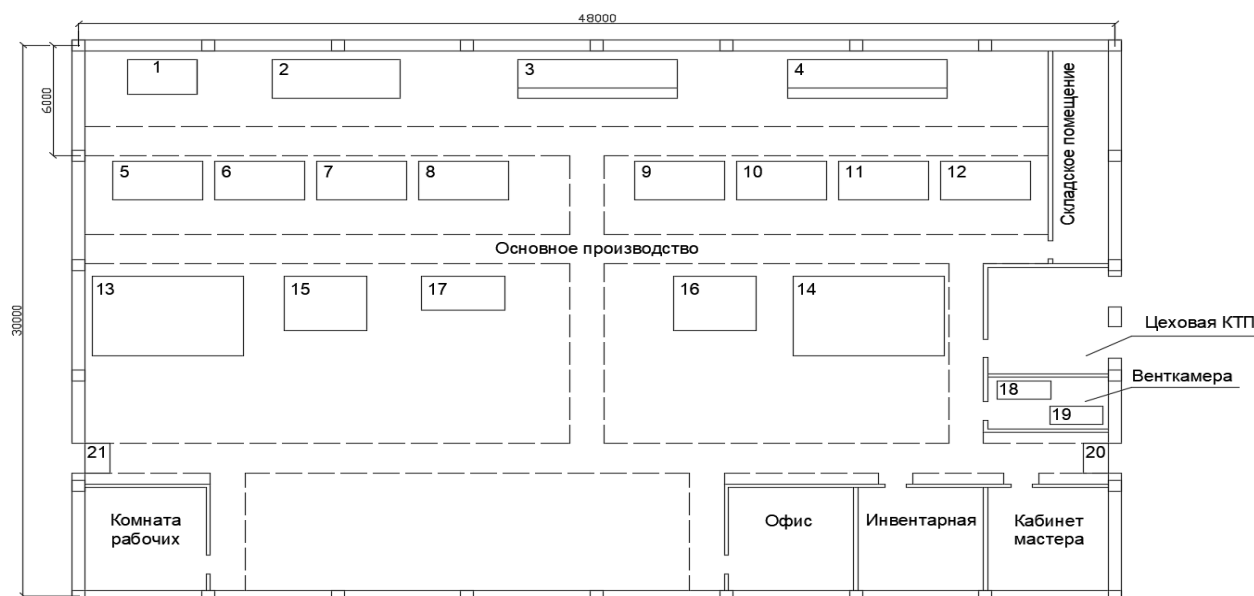


Рисунок 1.1 - План производственного цеха ООО «АСТ Системы»

Перечень электроприемников цеха и их технические характеристики представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Перечень электроприемников цеха

№ на плане	Электроприемник	n, шт	$P_{\text{ном}}$, кВт	$k_{\text{и}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$
1	Компрессор GD GSRDNER DENVER	1	11	0,5	0,8	0,75
2	Токарный станок СТ16к25Б/1500 СТАНКОМАШСТРОЙ	1	6,5	0,2	0,65	1,17
3	Гибка 1 GASPARINI PBS 105	1	11	0,2	0,65	1,17
4	Гибка 2 GASPARINI X-PRESS XP 115/4000	1	13	0,2	0,65	1,17
5-12	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	8	17	0,45	0,8	0,75
13-14	Установка контактной сварки TRE.CI s.r.l mod 963 400 В 50 Гц 150 кВА 1200x800x1800 ДxШxВ	2	97,5	0,5	0,65	1,17
15-16	Холодильный агрегат обратного водоснабжения ВТХО-6-С-ПВ 1200x700x1850	2	2,48	0,25	0,65	1,17
17	Портативный фильтровентиляционный агрегат СовПлим LF-400	1	2	0,65	0,8	0,75
18	Система притяжной вентиляции	1	26	0,65	0,8	0,75
19	Система вытяжной вентиляции	1	31	0,65	0,8	0,75
20-21	Тепловые завесы	2	8	0,65	0,8	0,75
	Бытовые розетки в кабинетах	1	5	0,6	1	0

2 Расчет электрических нагрузок производственного цеха ООО «АСТ Системы»

2.1 Расчет освещения цеха

Система освещения должна соответствовать СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (актуализированная редакция СНиП 23-05-95*) [7]. Важной особенностью документа является наличие требований к светодиодным световым приборам. В настоящее время светодиодное освещение является одним из перспективных направлений среди технологий искусственного электроосвещения.

Преимущества светодиодных осветительных приборов по сравнению с альтернативными источниками света:

- * экономия электроэнергии до 90%, по сравнению с лампами накаливания, (т.е. 10 Вт светодиодной лампы аналогичен 100 Вт лампе накаливания);

- * срок службы от 50 000 до 100 000 часов;

- * срок службы светильника не менее 15 лет;

- * диапазон рабочих температур от -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$;

- * коэффициент пульсации 0;

- * коэффициент мощности: $\cos \varphi$ составляет $> 0,9$;

- * отсутствие ртутных паров и ультрафиолетового излучения; не требуют специальной утилизации;

- * отсутствие стробоскопического эффекта (мерцаний);

- * отсутствие больших пусковых токов;

- * стойкие к перепадам напряжения в сети от 170-280 В;

- * виброустойчивость;

- * повышенная устойчивость к механическим воздействиям;

- * мгновенный запуск;

- * снижение потребляемой мощности;

* сокращение издержек на техническое обслуживание осветительных приборов, (т. е. эксплуатационные расходы на стартера и дросселя отсутствуют);

* более эффективное и качественное освещение, за счёт белого света светодиодов.

Выберем освещенность, системы освещения и источники света.

Во всех помещениях цеха необходимо рассчитать общее равномерное освещение.

Нормируемая освещенность помещений цеха составляет:

- для основного производственного помещения, комнаты для персонала, офиса, инвентарной, помещения трансформаторной подстанции и вентиляционной – 200 лк;

- для комнаты мастера – 300 лк;

- для складского помещения – 75 лк.

Выберем тип осветительных приборов, их расположение.

Для основного производственного помещения, складского помещения, помещения трансформаторной подстанции и вентиляционной с нормальными условиями среды, с разрядом зрительных работ IV, используются светильники со светодиодными лампами. Для установки выбираются светильники PHB SMD Reflector 120 градусов 100W/150W [24].

Характеристики светильника приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Технические характеристики светильника PHB SMD Reflector [24]

Технические характеристики	Величина
Мощность, Вт	100
Световой поток, Лм	9000
Коэффициент мощности $\cos\phi$	0,96
Напряжение питания	100-265 В
Класс защиты	IV
Температура эксплуатации	От -25 °С до +50 °С
Степень защиты	IP54

Расчетная высота подвеса, м:

$$H_p = h_{\text{пом}} - h_{\text{р.п.}} - h_c, \quad (2.1)$$

где $h_{\text{пом}}$ – высота цеха, равная 9 м;

$h_{\text{р.п.}}$ – высота рабочей поверхности, равная 0,8 м;

h_c – высота свеса осветительного, принимаемая равной 3,5 м;

$$H_p = 9 - 0,8 - 3,5 = 4,7 \text{ м.}$$

Для использования в комнате для персонала, офисе, инвентарной и комнате мастера применяются светильники L-office 25/3025/32/Д [25]. Технические характеристики светильника L-office 25/3025/32/Д представлены в таблице 1.4

Расчетная высота подвеса определяется, учитывая высоту данных помещений 3,5 м, высоту свеса светильников – 1,0 м:

$$H_p = 4,0 - 0,8 - 1,0 = 2,2 \text{ м.}$$

Таблица 2.2 - Технические характеристики светильника L-office 25/3025/32/Д [25]

Параметр	Величина
Напряжение	от 140 В до 265 В
Частота	$50 \pm 10\%$ Гц
Рабочий ток светодиодов	350 мА
Напряжение питания постоянного тока, В	от 200 до 250
Потребляемая мощность, Вт	30
Общий световой поток, люмен	3700
Масса, кг	3,5
Температура эксплуатации, С	от +1 до +35
Вид климатического исполнения	УХЛ 4
Класс защиты от поражения электрическим током	I
Степень защиты корпуса светильника	IP 30

Проведем расчет мощности и выберем светильники. В качестве примера приводится расчет мощности и выбор светильников для трансформаторной подстанции.

Расстояние между рядами и светильниками в ряду:

$$L = \lambda_c \cdot H_p, \quad (2.2)$$

где λ_c – наивыгоднейшее относительное расстояние, $\lambda_c = 1,2 \dots 1,4$ [12], о.е.;

$$L = (1,2 \dots 1,4) \cdot 4,7 = 5,64 \dots 6,58.$$

Принимается $L = 6$ м.

Количество рядов светильников

$$R = A / L; \quad (2.3)$$

$$R = 6 / 6 = 1.$$

Принимается $R = 1$ ряд.

Количество светильников в ряду

$$N_c = B / L; \quad (2.4)$$

$$N_c = 6 / 6 = 1.$$

Принимается $N_c = 3$ светильника в ряд.

Количество светильников в помещении

$$N = R \cdot N_c; \quad (2.5)$$

$$N = 1 \cdot 1 = 1 \text{ светильник.}$$

Значение индекса помещения [12], о.е.:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)} \quad (2.6)$$

где A и B – соответственно длина и ширина помещений цеха, м;

H_p – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м;

$$i = \frac{6 \cdot 6}{4,7 \cdot (6 + 6)} = 0,64$$

Для $i = 0,64$, $\eta_{\text{п}} = 0,3$, $\eta_{\text{с}} = 0,1$, $\eta_{\text{р}} = 0,1$ и кривой силы света типа Д-2 $\eta_{\text{п}} = 30\%$ [12].

Расчётное количество светильников [12], лм:

$$N = \frac{E_{\text{н}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot S \cdot z}{\Phi \cdot \eta} \quad (2.7)$$

где $E_{\text{н}}$ – нормативное значение минимальной освещённости [7, 12], лк;

$k_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса, $k_{\text{зап}} = 1,5$ для светодиодных светильников [12];

S – площадь цеха, м²,

$$S = A \cdot B; \quad (2.8)$$

$$S = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2.$$

z – коэффициент, $z = 1,1$ для светодиодных светильников [12], о.е.;

$$N = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 36 \cdot 1,1}{9000 \cdot 0,3} = 3,3$$

Принимается 3 светильника.

Уточнённая расчетная мощность электроосвещения [8]

$$P_p = N \cdot P_{св}, \quad (2.9)$$

$$P_p = 3 \cdot 100 = 300 \text{ Вт.}$$

Расчетная реактивная нагрузка освещения [8], квар

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.10)$$

где $\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg}(\arccos \varphi)$, о.е.,

$\cos \varphi$ – коэффициент активной мощности освещения, о.е.:

$$\cos \varphi = 0,96, \quad \operatorname{tg} \varphi = 0,292.$$

$$Q_p = 300 \cdot 0,292 = 88 \text{ вар.}$$

Полная мощность освещения помещения определяется по выражению

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (2.11)$$

$$S_p = \sqrt{300^2 + 88^2} = 313 \text{ ВА.}$$

Аналогично рассчитываются светильники в остальных помещениях. Результаты светотехнического расчета сведены в таблицу 2.3.

Разработаем систему аварийного освещения.

Аварийное освещение следует располагать только в основном производственном помещении для эвакуации персонала из производственного цеха. Для аварийного освещения применяются 10 светильников РНВ SMD Reflector из числа рассчитанных ранее. Перед каждым светильником установлен источник бесперебойного питания для

возможности работать при перерывах в электроснабжении. Размещение аварийных светильников представлено в графической части ВКР.

Таблица 2.3 - Результаты светотехнического расчета

Помещение	Ен, лк	h, м	A, м	B, м	S, м ²	i	η, о.е.	N _{рас} ч	Тип светильника	Φ _{ном} лм	N	P _л , Вт	P _{уст} , Вт	Q _р , вар	S _р , ВА
Основное производственно е помещение	20 0	4, 7	4 8	3 6	149 4	4,3 8	0,7 1	89,0	PHB SMD Reflector	9000	8 9	10 0	8900	259 6	9271
Комната для персонала	15 0	2, 2	6 6	6 6	36	1,3 6	0,5 4	5,5	L-office 25/3025/32/ Д	3025	6 32	32	192	93	213
Офис	15 0	2, 2	6 6	6 6	36	1,3 6	0,4 6	5,5	L-office 25/3025/32/ Д	3025	6 32	32	192	93	213
Инвентарная	10 0	2, 2	6 6	6 6	36	1,3 6	0,5 1	3,6	L-office 25/3025/32/ Д	3025	4 32	32	128	62	142
Комната мастера	30 0	2, 2	6 6	6 6	36	1,3 6	0,5 8	7,3	L-office 25/3025/32/ Д	3025	7 32	32	224	108	249
Складское помещение	75	4, 7	3	1 2	36	0,5 1	0,4 2	2,2	PHB SMD Reflector	9000	2 10	10 0	200	58	208
Цеховая КТП	15 0	4, 7	6 6	6 6	36	0,6 4	0,3 8	3,3	PHB SMD Reflector	9000	3 10	10 0	300	88	313
Вентиляционная	10 0	4, 7	6 3	3 18	18	0,4 3	0,5 4	1,6	PHB SMD Reflector	9000	2 10	10 0	200	58	208
ИТОГО													1033 6	315 6	1080 7

2.2 Расчет ожидаемых электрических нагрузок производственного цеха

Правильный расчет электрических нагрузок - это основа рационального построения и эксплуатации системы электроснабжения производственного цеха предприятия. Электрические нагрузки необходимо рассчитывать в связи с необходимостью выбора числа и мощности силовых трансформаторов, проверки кабелей по нагреву и потере напряжения, правильного выбора автоматических выключателей и дугой защитной аппаратуры, а также устройств компенсации реактивной мощности. Для расчета электрических нагрузок групп электроприемников необходимо знать

установленную мощность всех потребителей электроэнергии цеха и характер технологического процесса.

Подробно будет рассмотрен РП-1. От этого распределительного пункта питаются 9 электроприемников общей номинальной мощностью 98 кВт.

Рассчитываются нагрузки в отделениях. Для каждой группы однотипных электроприемников находится средняя нагрузка [5]:

$$P_C = n \cdot K_{ИА} \cdot P_{НОМ}; \quad (2.13)$$

$$Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (2.14)$$

где $P_{НОМ}$ – номинальная активная мощность однотипных потребителей электроэнергии, кВт.

n – число однотипных электроприемников подключенных к РП-1.

Для компрессора GD GSRDNER DENVER с параметрами $P_{НОМ} = 11$ кВт, $n = 1$, $K_{ИА} = 0,5$, $\cos\varphi = 0,8$:

$$\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}(\operatorname{acos}(\cos\varphi))$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}(\operatorname{acos}(0,8)) = 0,75$$

$$P_C = 1 \cdot 0,5 \cdot 11 = 5,5 \text{ кВт};$$

$$Q_C = 5,5 \cdot 0,75 = 4,1 \text{ квар.}$$

Аналогично рассчитываются другие нагрузки отделений, результаты расчета сведены в таблицу 1.7.

Определяется эффективное число электроприемников [5]: так как

$$P_{\text{нmax}}/P_{\text{нmin}} = 15 / 2 = 7,5 > 3, \text{ принимается}$$

$$n_{\text{Э}} = \frac{\sum P_{\text{НОМ}i}^2}{\sum (n_i \cdot P_{\text{НОМ}i}^2)}; \quad (2.15)$$

$$n_{\text{Э}} = \frac{98^2}{1393} = 7.$$

Далее определяется средневзвешенное значение коэффициента использования по РП-1 [5]:

$$K_{ИА} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Ci}}{\sum_{i=1}^n P_{НОМi}}, \quad (2.16)$$
$$K_{ИА} = \frac{44,5}{98} = 0,45.$$

Средневзвешенное значение $\operatorname{tg} \phi$ определяется аналогично [5]:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{Ci}}{\sum_{i=1}^n P_{Ci}}, \quad (2.17)$$
$$\operatorname{tg} \phi = \frac{34,2}{44,5} = 0,77.$$

По полученному значению $\operatorname{tg} \phi$ находится значение $\cos \phi$.

$$\cos \phi = \cos(\operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \phi));$$
$$\cos \phi = \cos(\operatorname{arctg}(0,77)) = 0,79.$$

Согласно [5] расчетные мощности для системы 2-ого уровня можно найти как:

$$P_P = K_P \cdot \sum_{i=1}^n P_{Ci}, \quad (2.18)$$

где K_P – коэффициент расчетной нагрузки по активной мощности, приведен в [5, 15], $K_P = f(n_Э, K_{ИА})$.

Для питающих электросетей напряжение которых менее 1 кВ в зависимости от $n_Э$ [5]:

$$\text{если } n_3 \leq 10, \text{ то } Q_p = 1,1 Q_c; \quad (2.19)$$

$$\text{если } n_3 > 10, \text{ то } Q_p = Q_c.$$

Полная расчетная нагрузка:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (2.20)$$

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (2.21)$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение, кВ.

Приведем в качестве примера расчет для РП-1 - $K_p=1,11$, тогда

$$P_p = 1,11 \cdot 44,5 = 49,4 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 34,2 = 37,6 \text{ квар};$$

$$S_p = \sqrt{49,4^2 + 37,6^2} = 62,1 \text{ кВА}.$$

$$I_p = \frac{62,1}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 94,5 \text{ А}.$$

Аналогично определяются и нагрузки остальных отделений, результаты расчета сведены в таблицу 1.2.

На следующем этапе требуется рассчитать электрические нагрузки на СШ напряжением 0,4 кВ цеховой трансформаторной подстанции, а это уже система III уровня.

Расчетная активная и расчетная реактивная мощности находятся как [5]:

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n P_{Ci}, \quad (2.22)$$

$$Q_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n Q_{Ci}, \quad (2.23)$$

где K_p – коэффициент расчетной нагрузки по активной мощности, определяется в [5] по другой таблице в отличие от II уровня.

Эффективное число электроприемников цеха равно:

$$n_{\text{Э}} = \frac{457,5^2}{23584,1} = 9;$$

Средневзвешенный коэффициент использования составляет:

$$K_{\text{ИА}} = \frac{233,6}{457,5} = 0,51;$$

Коэффициент мощности равен:

$$\text{tg}\varphi = \frac{212,5}{233,6} = 0,91;$$

Отсюда определяется $\cos\varphi = 0,74$.

Определяется коэффициент расчетной нагрузки по активной мощности

$$K_p = f(n_{\text{Э}}, K_{\text{ИА}}) = 0,85 [5].$$

Расчетная активная мощность равна

$$P_p = 0,85 \cdot 233,6 = 198,6 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная мощность равна

$$Q_p = 0,85 \cdot 212,5 = 180,6 \text{ квар.}$$

Полная расчетная мощность силовой нагрузки определяется по формуле:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_{p.}^2}; \quad (2.24)$$

$$S_{p.} = \sqrt{198,6^2 + 180,6^2} = 268,4 \text{ кВА.}$$

Полный расчетный ток силовой нагрузки определяется по формуле:

$$I_{p.} = \frac{S_{p.}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.25)$$

$$I_p = \frac{268,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 408,3 \text{ А.}$$

Расчет электрических нагрузок производственного цеха представлен в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Результаты расчета электрических нагрузок производственного цеха

Исходные данные							Средние мощности		$n_{\text{э}}$	K_p	Расчетные мощности		
Данные цеха				Справочные данные			$P_{\text{ср, кВт}}$	$Q_{\text{ср, кВАр}}$			$P_p, \text{ кВт}$	$Q_p, \text{ кВАр}$	$S_p, \text{ кВА}$
Наименование потребителя	$n_{\text{эп}}$	Номинальные мощности, кВт		$K_{\text{и}}$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$							
		1-го ЭП	общая										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ПП1													
Компрессор GD GSRDNER DENVER	1	11	11	0,5	0,8	0,75	5,5	4,1					
Токарный станок СТ16к25Б/1500	1	6,5	6,5	0,2	0,65	1,17	1,3	1,5					
Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	4	17	68	0,45	0,8	0,75	30,6	23,0					

Продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Холодильный агрегат обратного водоснабжения ВТХО-6-С-ПВ 1200х700х1850	1	2,48	2,48	0,25	0,65	1,17	0,6	0,7					
Портативный фильтровентиляционный агрегат СовПлим LF-400	1	2	2	0,65	0,8	0,75	1,3	1,0					
Тепловые завесы	1	8	8	0,65	0,8	0,75	5,2	3,9					
Итого по РП1	9		98,0	0,45	0,79	0,77	44,5	34,2	7	1,11	49,4	37,6	62,1
РП2													
Гибка 1 GASPARINI PBS 105	1	11	11	0,2	0,65	1,17	2,2	2,6					
Гибка 2 GASPARINI X-PRESS XP 115/4000	1	13	13	0,2	0,65	1,17	2,6	3,0					
Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	4	17	68	0,45	0,8	0,75	30,6	23,0					
Холодильный агрегат обратного водоснабжения ВТХО-6-С-ПВ 1200х700х1850	1	2,48	2,48	0,25	0,65	1,17	0,6	0,7					
Тепловые завесы	1	8	8	0,65	0,8	0,75	5,2	3,9					
Итого по РП2	8		102,48	0,40	0,78	0,81	41,2	33,2	7	1,12	46,2	36,5	58,9
Установка контактной сварки TRE.CI s.r.l mod 963 400 В 50 Гц 150 кВА 1200х800х1800 ДхШхВ	2	97,5	195	0,5	0,65	1,17	97,5	114,1			97,5	114,1	150,1
Система притяжной вентиляции	1	26	26	0,65	0,8	0,75	16,9	12,7			16,9	12,7	21,1
Система вытяжной вентиляции	1	31	31	0,65	0,8	0,75	20,15	15,1			20,2	15,1	25,2
Бытовые розетки в кабинетах	1	5	5	0,6	1	0	3	0,0			3,0	0,0	3,0
ИТОГО ПО ЦЕХУ	22		457,5	0,49	0,73	0,94	223,3	209,3	9	0,85	189,8	177,9	260,1

3 Выбор трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности

Для выбора компенсирующего устройства необходимо знать [20]:

- расчетную реактивную мощность КУ;
- тип компенсирующего устройства;
- напряжение КУ.

Мощность компенсирующих устройств выбирается с учетом требований энергетической системы. Энергосистема регламентирует потребление реактивной мощности следующим образом: устанавливается рекомендуемый коэффициент мощности на шинах ВН подстанции ($\text{tg}\varphi_{\text{рек}}$). Так как напряжение системы 10 кВ, то $\text{tg}\varphi_{\text{рек}} = 0,4$.

Минимальная мощность компенсирующих устройств определяется по формуле [14]:

$$Q_{\text{ку}} \approx P_{\text{р}\Sigma} \cdot (\text{tg}\varphi_{\text{факт}} - \text{tg}\varphi_{\text{рек}}), \quad (3.1)$$

где $P_{\text{р}}$ – расчетная активная мощность на шинах 0,4 кВ цеховой ТП, кВт;
 $\text{tg}\varphi_{\text{факт}}$ – фактический коэффициент мощности на шинах ВН до установки компенсирующих устройств [14];

$$\text{tg}\varphi_{\text{факт}} = Q_{\text{р}\Sigma} / P_{\text{р}\Sigma}; \quad (3.2)$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{факт}} = 180,6 / 198,6 = 0,901.$$

$\text{tg}\varphi_{\text{рек}}$ – рекомендуемый энергосистемой коэффициент мощности, согласно приказа Минэнерго №380 от 23.06.2015 г. для сетей 10 кВ необходимо принимать равным $\text{tg}\varphi_{\text{рек}} = 0,4$ [13]

$$Q_{\text{ку}} \approx 198,6 \cdot (0,901 - 0,4) = 99,5 \text{ квар.}$$

Принимаются к установке две конденсаторные установки УKM58-0,38-100-25 УЗ. Мощности обеих конденсаторных установок устанавливаются на 50 квар. Технические характеристики выбранных компенсирующих устройств представлена в таблице 3.1

Таблица 3.1 - Технические характеристики выбранных компенсирующих устройств [22]

Технические характеристики	Величина
Тип компенсирующих устройств	УKM58-0,69-100-25 УЗ
Номинальная мощность	100 квар
Шаг регулировки	25 квар
Номинальный ток	144,3 А
Сечение медного питающего кабеля, мм ²	3x70

Таким образом, реактивная мощность на сборных шинах 0,4 кВ ТП составляет

Реактивная мощность на СШ 0,4 кВ ТП равна [9]

$$Q_{p.cкУ} = Q_{p\Sigma} - Q_{кУ} \quad (3.3)$$

$$Q_{p.cкУ} = 180,6 - 2 \cdot 50 = 80,6 \text{ квар,}$$

таким образом, после установки КУ коэффициент мощности составляет

$$\text{tg}\phi = 80,6 / 198,6 = 0,4,$$

что соответствует максимально допустимому значению, а значит выбор КУ выполнен верно.

Полная расчетная мощность силовой нагрузки определяется по формуле:

$$S_{p.ц.} = \sqrt{P_{p.ц.}^2 + Q_{p.ц.}^2}; \quad (3.4)$$

$$S_{p.ц.} = \sqrt{198,6^2 + 80,6^2} = 214,3 \text{ кВА.}$$

Полный расчетный ток силовой нагрузки:

$$I_{p.} = \frac{S_{p.}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (3.5)$$

$$I_p = \frac{214,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 326,0 \text{ А.}$$

Трансформаторы относятся к основному оборудованию и правильный технически и экономически обоснованный выбор их типа, числа и мощности необходим для рационального электроснабжения электрической энергии.

Определяя число трансформаторов в трансформаторной подстанции, необходимо учесть условие, предъявляемое к электроснабжению электроприемников первой и второй группы надежности, которое указывает, что для питания этих групп должно быть два независимых источника питания, то есть необходимо применить двухтрансформаторную подстанцию.

Учитывая наличие в цехе потребителей II категории надежности, принимаются к установке два силовых трансформатора.

Номинальная мощность трансформаторов определяется по условию:

$$S_{н.тр} \geq \frac{S_{p.ц.}}{K_{д.п.}}, \quad (3.6)$$

где $K_{д.п.}$ – допустимый коэффициент перегрузки трансформатора, для масляного трансформатора $K_{д.п.} = 1,4$;

$$S_{н.тр} \geq \frac{214,3}{1,4} = 153,1 \text{ кВА.}$$

Принимается силовой трансформатор ТМГ – 160/10/0,4, $S_{н.тр.} = 160$ кВА.

Фактический коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме определяется по формуле [9]:

$$K_3 \geq \frac{S_{р.ц.}}{n \cdot S_{н.тр}}, \quad (3.7)$$

где n – количество трансформаторов, $n = 2$ шт.

$$K_3 \geq \frac{214,3}{2 \cdot 160} = 0,67 < 0,7 \rightarrow \text{трансформатор проходит.}$$

Для масляных трансформаторов с постоянной системой охлаждения допускается аварийная перегрузка на 40% сверх номинального тока в течение 6 суток по 5 часов каждые сутки, если предварительно он был загружен не более чем на 80 % номинального тока трансформатора.

Фактический коэффициент загрузки в аварийном режиме рассчитывается по формуле [9]:

$$K_{3.ав} \geq \frac{S_{р.ц.}}{(n-1) \cdot S_{н.тр}}, \quad (3.8)$$
$$K_{3.ав} \geq \frac{214,3}{(2-1) \cdot 160} = 1,34.$$

Из расчетов видно, что трансформаторы удовлетворяют условиям загрузки даже при выходе из строя одного из них. Технические характеристики силового трансформатора приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Технические характеристики силового трансформатора ТМГ – 160/10/0,4 [21]

Технические характеристики	Величина
Тип трансформатора	ТМГ – 160/10
Номинальная мощность	160 кВА
Напряжение обмотки ВН	10 кВ
Напряжение обмотки НН	0,4 кВ
Потери холостого хода	440 Вт
Потери короткого замыкания	2650 Вт
Ток холостого хода	2,4 %
Напряжение короткого замыкания	4,7 %
Схема и группа соединения обмоток	Δ/Ун-11

Силовые трансформаторы как было указано выше устанавливаются в комплектной трансформаторной подстанции 2КТП-160-10/0,4.

Ввод ВН в ТП выполняется от радиальных ЛЭП. В конце ЛЭП не требуется коммутационная аппаратура, и ЛЭП наглухо соединяется с жабимами ВН трансформатора. Вся коммутационная аппаратура и защитные устройства блока ЛЭП – трансформатор находятся в начале ЛЭП на ГПП завода. Для удобства выполнения ремонтных работ и профилактических испытаний КЛ предусматривают выключатели нагрузки между кабелем и трансформатором. Для удобства заземления кабеля во время ремонтных работ выключатель нагрузки снабжают заземляющими ножами.

4 Выбор и обоснование схемы электроснабжения производственного цеха

Для питания электроприемников цеха устанавливают РП. Подключение РП к РУ КТП выполняется «напрямую» кабельными линиями.

Подключение отдельных электроприемников от распределительных пунктов выполняется кабелями.

Выбор напряжения выше 1 кВ производится в зависимости от мощности электроустановок предприятия одновременно с выбором всей схемы электроснабжения. Так как на ГПП предприятия есть напряжение только 10 кВ, то питающие линии высокого напряжения цеха выполняются напряжением 10 кВ [19].

Для внутрицеховых сетей наиболее распространение имеет напряжение 380/220 В, основным преимуществом которого является возможность совместного питания силовых и осветительных ЭП, которое и применяется в рассматриваемом цехе.

Питание линии осветительной сети присоединяют к групповым щиткам через установленные на них аппараты защиты и управления. Групповые щитки устанавливают в местах доступных для обслуживания.

Система освещения цеха подключается от щита освещения ЩО. Данный щит в свою очередь подключается от РУ НН трансформаторной подстанции.

5 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов КЗ следует начинать с составления расчетной схемы электрической сети (рисунок 5.1). На расчетной схеме необходимо указать все параметры, которые влияют на значение тока короткого замыкания (средненоминальное значение ступени напряжения, технические характеристики электрического оборудования) и расчетные точки, в которых нужно рассчитать токи КЗ. Ток КЗ при проектировании системы электроснабжения производственного необходимо определять только на сборных шинах 0,4 кВ.

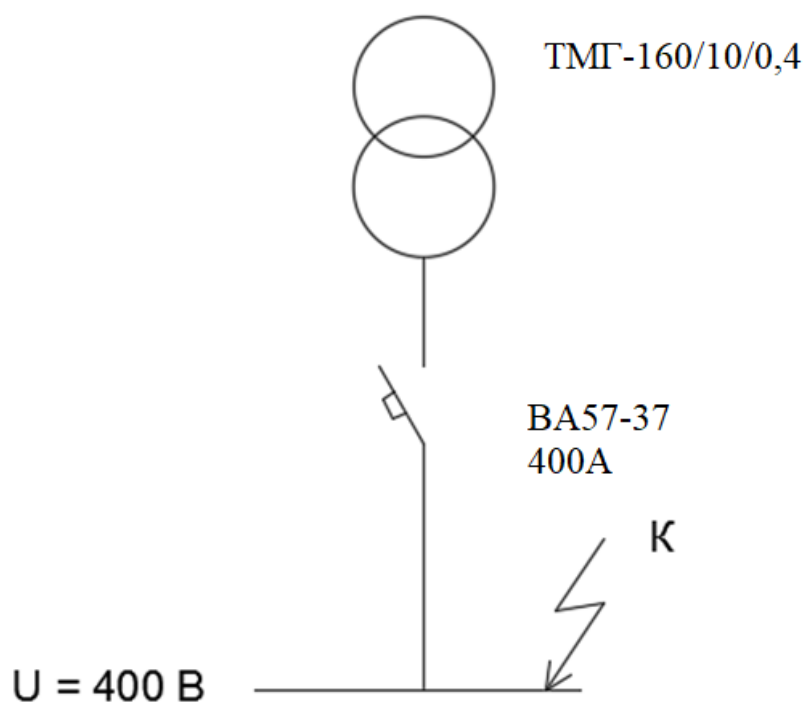


Рисунок 5.1 - Расчетная схема электрической сети

На основании расчетной схемы необходимо составить электрическую схему замещения (рисунок 5.2). Схема замещения - это схема, которая соответствует по своим параметрам расчетной схеме электрической сети, и все электромагнитные связи в которой заменены электрическими.

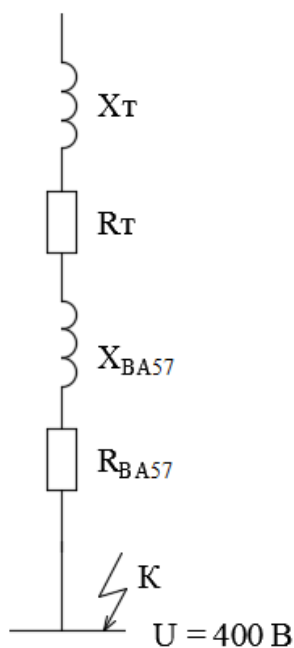


Рисунок 5.2 - Электрическая схема замещения электрической сети

После составления электрической схемы замещения сети следует произвести расчет ее параметров. Согласно [1] токи КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ рассчитываются в именованных единицах. Необходимо определить сопротивления элементов схемы замещения.

Сопротивления трансформаторов ТМГ-160/10/0,4 равны:

$$R_T = 10,3 \text{ мОм}; X_T = 26,0 \text{ мОм [1].}$$

Сопротивления автоматического выключателя ВА57-37 160 А составляют:

$$R_{BA57} = 0,65 \text{ мОм}; X_{BA57} = 0,17 \text{ мОм [1].}$$

Суммарное активное сопротивление сети до сборных шин 0,4 кВ КТП определяется по выражению:

$$R_{\Sigma} = R_T + R_{BA57}; \tag{5.1}$$

$$R_{\Sigma} = 10,3 + 0,65 = 10,95 \text{ мОм.}$$

Суммарное индуктивное сопротивление сети до сборных шин 0,4 кВ КТП определяется по выражению:

$$X_{\Sigma} = X_T + X_{BA57}; \quad (5.2)$$

$$X_{\Sigma} = 26,0 + 0,17 = 26,17 \text{ мОм.}$$

Ток трехфазного короткого замыкания на сборных шинах 0,4 кВ КТП определяется по формуле [1]:

$$I_K = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}; \quad (5.3)$$

$$I_K = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{10,95^2 + 26,17^2}} = 8,2 \text{ кА.}$$

Результаты расчета токов короткого замыкания представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Сводная таблица результатов расчета

Точка КЗ	R_{Σ} , мОм	X_{Σ} , мОм	I_K , кА
К	10,95	26,17	8,2

6 Расчет и выбор электрооборудования и проводников

6.1 Выбор силового электрооборудования выше 1000 В, проводников и способа их прокладки

Выключатели нагрузки на вводе в ТП.

Выключатели нагрузки не предназначены для отключения токов КЗ, поэтому их выбирают [18]:

- по напряжению установки

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}} \quad (6.1)$$

- по длительному току

$$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}} \quad (6.2)$$

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}} \quad (6.3)$$

- по электродинамической стойкости

$$i_y \leq i_{\text{дин}} \quad (6.4)$$

где $i_{\text{дин}}$ – ток электродинамической стойкости, кА;

- по термической стойкости

$$W_k \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}} \quad (6.5)$$

Для установки на вводе в ТП применяется КСО-366 с выключателем нагрузки ВНРп-10/400 УЗ. Расчетные и каталожные данные выключателя нагрузки приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Выбор выключателя нагрузки на вводе в ТП [15]

Параметры выбора	Расчетные параметры электросети	Паспортные данные ВНРп-10/400 УЗ
$u_{\text{НОМ}} \geq u_{\text{УСТ}}$	$u_{\text{УСТ}}=10 \text{ кВ}$	$u_{\text{НОМ}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{МАХ}}$	$I_{\text{МАХ}}=13 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}}=400 \text{ А}$
$i_{\text{ДИН}} \geq i_{\text{УД}}$	$i_{\text{УД}}=21,6 \text{ кА}$	$i_{\text{ДИН}}=40 \text{ кА}$
$I_{\text{ТЕП}}^2 \cdot t_{\text{ТЕП}} \geq B_{\text{К}}$	$B_{\text{К}} = 8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{ТЕП}}^2 \cdot t_{\text{ТЕП}} = 12,5^2 \cdot 3 = 469 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Выберем предохранители напряжением 10 кВ.

Выключатель нагрузки сочетается с высоковольтным предохранителем, то предохранитель выбирается [18]:

- по напряжению установки

$$U_{\text{УСТ}} \leq U_{\text{НОМ}} \quad (6.6)$$

- по длительному току

$$I_{\text{НОРМ}} \leq I_{\text{НОМ}} \quad (6.7)$$

$$I_{\text{МАХ}} \leq I_{\text{НОМ}} \quad (6.8)$$

- по отключающей способности

$$I_{\text{К.З.}}^{(3)} \leq I_{\text{ОТК.НОМ}} \quad (6.9)$$

где $I_{\text{ОТК.НОМ}}$ – номинальный ток отключения, кА.

Для установки в КСО-366 на вводе в ТП в сочетании с выключателем нагрузки применяется предохранитель ПКТ103-10-12,5/20. Расчетные и каталожные данные высоковольтного предохранителя приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 - Выбор выключателя нагрузки на вводе в ТП [15]

Параметры выбора	Расчетные параметры электросети	Паспортные данные ПКТ103-10-12,5/20 УЗ
$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}$	$U_{\text{УСТ}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{МАХ}}$	$I_{\text{МАХ}}=13 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}}=20 \text{ А}$
$I_{\text{НОМ.ОТКЛ}} \geq I_{\text{КЗ}}$	$I_{\text{КЗ}} = 8,9 \text{ кА}$	$I_{\text{ОТКЛ.НОМ}}=12,5 \text{ кА}$

6.2 Выбор силового электрооборудования до 1000 В, проводников и способа их прокладки

Выберем автоматические выключатели.

Автоматические выключатели снабжают устройством релейной защиты, которое в зависимости от типа выключателя выполняют в реле токовой отсечки, максимальной токовой защиты или двухступенчатой токовой защиты. Для этого используют электромагнитные и тепловые реле.

Автоматические выключатели напряжением до 1 кВ выбираются по следующим условиям:

1. по номинальному напряжению

$$U_{\text{НОМ}} = 0,38 \text{ кВ} \geq U_{\text{НОМ.УСТ}} = 0,38 \text{ кВ} - \text{верно}$$

2. по номинальному току теплового расцепителя

$$I_{\text{Т.р.}} \geq K_{\text{Т.р.}} \cdot I_{\text{НОМ.ЭП}}, \quad (6.10)$$

где $K_{\text{Т.р.}}$ – коэффициент теплового расцепителя.

- для нерегулируемого теплового расцепителя - 1,15
- для электроприемника без пусковых токов - 1,0
- для группы электроприемников - 1,1

Для компрессора GD GSRDNER DENVER

$$I_{т.р.} \geq 1,15 \cdot 20,9 = 24,1 \text{ А.}$$

3. по номинальному току электромагнитного расцепителя

- для одиночного электроприемника

$$I_{у.э.р.} \geq 1,2 \cdot I_{пуск}, \quad (6.11)$$

- для группы электроприемников

$$I_{у.э.р.} \geq 1,25 \cdot I_{пик}, \quad (6.12)$$

Для компрессора GD GSRDNER DENVER

$$I_{у.э.р.} \geq 1,2 \cdot (5,5 \cdot 20,9) = 137,9 \text{ А.}$$

4. по номинальному току автоматического выключателя

$$I_{ном.АВ} \geq I_p, \quad (6.13)$$

где I_p – расчетный ток линии, А.

Расчетный ток определяется в зависимости от числа электроприемников, получающих питание по линии.

- для одиночного электроприемника

$$I_p = I_{ном.ЭП}, \quad (6.14)$$

- для группы электроприемников

$$I_p = \sum I_{ном.ЭП}, \quad (6.15)$$

Для компрессора GD GSRDNER DENVER

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq I_p = 20,9 \text{ А.}$$

5. по электродинамической стойкости

$$I_{\text{ном.откл.}} \geq I_{\text{К1}}, \quad (6.16)$$

$$I_{\text{ном.откл.}} = 35 \text{ кА} \geq I_{\text{К1}} = 4,3 \text{ кА.}$$

Принимается к установке автоматический выключатель ВА51-31 $I_{\text{ном.АВ}} = 25 \text{ А}$ параметры которого представлены в таблице 6.3.

Аналогично выбираются остальные автоматические выключатели. Результаты расчетов сведены в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 - Выбор автоматических выключателей

Узел питания	Электроприемник						Автоматический выключатель			
	№ по плану	Наименование электроприемника	$P_{\text{ном}},$ кВт	$I_{\text{ном}},$ А	$I_{\text{пуск}},$ А	Коэф. <	Тип	$I_{\text{ном.ав}},$ А	$I_{\text{тр}},$ А	$I_{\text{у.э.р.}},$ А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вводной АВ КТП 0,4 кВ			160 кВА	340,7		1,1	ВА51-37	400	400	4800
Секционный АВ КТП 0,4 кВ			160 кВА	170,4		1,1	ВА51-37	400	315	2400
КТП		РП1	49,4	94,5	519,8	1,1	ВА51-33	160	125	1500
РП1	1	Компрессор GD GSRDNER DENVER	11	20,9	115,0	1,15	ВА51-31	100	25	300
РП1	2	Токарный станок СТ16к25Б/1500 СТАНКОМАШСТРОЙ	6,5	15,2	83,7	1,15	ВА51-31	100	25	300
РП1	5	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	17	32,3	177,8	1,15	ВА51-31	100	40	480

Продолжение таблицы 6.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
РП1	6	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	17	32,3	177,8	1,15	BA51-31	100	40	480
РП1	7	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	17	32,3	177,8	1,15	BA51-31	100	40	480
РП1	8	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	17	32,3	177,8	1,15	BA51-31	100	40	480
РП1	15	Холодильный агрегат обратного водоснабжения ВТХО-6-С-ПВ 1200x700x1850	2,48	5,8	31,9	1,15	BA51-31	100	10	120
РП1	17	Портативный фильтровентиляционный агрегат СовПлим LF-400	2	3,8	20,9	1,15	BA51-31	100	10	120
РП1	20	Тепловые завесы	8	15,2	83,7	1,15	BA51-31	100	25	300
КТП		РП2	46,2	89,5	492,3	1,1	BA51-31	100	100	1200
РП2	3	Гибка 1 GASPARINI PBS 105	11	25,7	141,6	1,15	BA51-31	100	31,5	378
РП2	4	Гибка 2 GASPARINI X-PRESS XP 115/4000	13	30,4	167,3	1,15	BA51-31	100	40	480
РП2	9	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	17	32,3	177,8	1,15	BA51-31	100	40	480
РП2	10	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	17	32,3	177,8	1,15	BA51-31	100	40	480
РП2	11	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	17	32,3	177,8	1,15	BA51-31	100	40	480
РП2	12	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	17	32,3	177,8	1,15	BA51-31	100	40	480
РП2	16	Холодильный агрегат обратного водоснабжения ВТХО-6-С-ПВ 1200x700x1850	2,48	5,8	31,9	1,15	BA51-31	100	10	120
РП2	21	Тепловые завесы	8	15,2	83,7	1,15	BA51-31	100	25	300

Продолжение таблицы 6.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
КТП	13	Установка контактной сварки TRE.CI s.r.l mod 963 400 В 50 Гц 150 кВА 1200x800x1800 ДxШxВ	97,5	228,2	1254,9	1,1	BA51-35	250	250	3000
КТП	14	Установка контактной сварки TRE.CI s.r.l mod 963 400 В 50 Гц 150 кВА 1200x800x1800 ДxШxВ	97,5	228,2	1254,9	1,1	BA51-35	250	250	3000
КТП	18	Система притяжной вентиляции	26	49,4	271,9	1,1	BA51-31	100	63	756
КТП	19	Система вытяжной вентиляции	31	58,9	324,2	1,1	BA51-31	100	80	960
КТП	-	Бытовые розетки в кабинетах	5	7,6		1,1	BA51-31	100	10	120
КТП	ЩО	Освещение	10,3	16,4		1,1	BA51-31	100	25	300

В качестве распределительных пунктов в цехе предлагается выбрать пункты серии ПР8501, которые предназначены для подключения электроприемников, номинальным напряжением не больше 660 В. Распределительные пункты в цехе выбираются по:

- номинальному напряжению

$$U_{\text{ном}} = 0,66 \text{ кВ} \geq U_{\text{ном.уст}} = 0,38 \text{ кВ} - \text{верно}$$

- номинальному току;
- количеству, току теплового расцепителя и числу полюсов автоматических выключателей.

Результаты выбора РП представлены в таблице 6.4.

В качестве щита освещения принимается металлический щит навесного исполнения ЩРН-24з-1-IP31 на 24 модуля.

Таблица 6.4 - Результаты выбора РП цеха [23]

Номер РП	Параметры сети		Характеристики распределительных пунктов				
	Ток I_p , А	Число отходящ. линий	Тип РП	Номин. ток	Вводной автомат	Число автоматов отходящих линий (3-х полюсные током от 10 до 100 А)	Габариты
РП1	94,5	9	ПР8501-073-54У1	250	1	10	1200x800x230
РП2	89,5	8	ПР8501-072-54У1	250	1	8	1200x800x230

Выберем кабели в цехе.

Выбор сечений кабелей цеха выполняется по условию нагрева, после чего кабель необходимо проверить по условию защиты установленным автоматическим выключателем и по потере напряжения.

Выбор сечений кабелей цеха выполняется по расчетному току по условию [16]

$$I_{\text{дл.доп}} > I_p. \quad (6.17)$$

Так для линии от РП1 до компрессора GD GSRDNER DENVER с максимальным рабочим током 20,9 А принимаем кабель ВВГнг-5х2,5 с длительно-допустимым током $I_{\text{дл.доп.}} = 27 \text{ А}$.

$$I_{\text{дл.доп}} = 27 \text{ А} > I_p = 20,9 \text{ А} \text{ – верно.}$$

Сечения проводов и кабелей, выбранных по нагреву, должны проверяться в соответствии с ПУЭ, по условию соответствия выбранному аппарату защиты:

$$I_{\text{д.д.}} \geq K_3 \cdot I_{\text{з.а.}}, \quad (6.18)$$

где K_3 – коэффициент защиты, характеризующий кратность допустимого длительного тока провода (кабеля) $I_{д.д.}$, по отношению к номинальному току срабатывания защитного аппарата $I_{з.а.}$

Значения K_3 определяются по методическим указаниям в зависимости от принятого вида защиты, требований к ней, характера сети, изоляции проводов или кабелей и условий их прокладки.

Номинальный ток расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратнозависимой от тока характеристикой в невзрыво- и непожароопасные производственные помещения предприятий при применении кабелей с ПВХ изоляцией $K_3 = 1,0$.

Для компрессора GD GSRDNER DENVER $I_{з.а.} = 25$ А, тогда

$$I_{д.д.} \geq 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ А.}$$

Принимается кабель ВВГ-5х10 с $I_{д.д.} = 64$ А.

Выбранные кабели необходимо проверить по потере напряжения. Потеря напряжения в линии определяется по формуле

$$\Delta U = \frac{P \cdot l}{C \cdot F}, \quad (6.19)$$

где P – активная мощность электроприемников и распределительных пунктов, щита освещения, кВт;

l – длина линии, м;

C – коэффициент, $C = 77$ кВт·м/мм²;

F – сечение кабеля, мм²

Для линии от РП1 до компрессора GD GSRDNER DENVER

$$\Delta U = \frac{8,9 \cdot 75}{77 \cdot 2,5} = 3,5 \% < 5 \%.$$

План производственного цеха с силовыми сетями и электрическая схема производственного цеха представлены в графической части ВКР.

Таблица 6.5 - Выбор кабелей

Узел питания	Электроприемник				Автомат	Кабели			
	№ по плану	Наименование электроприемника	$P_{ном},$ кВт	$I_{ном},$ А		$I_{т.р.},$ А	Кабель	$I_{д.л.},$ А	l, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
КТП		РП1	49,4	94,5	125	ВВГнг 5х35	140	30	0,55
РП1	1	Компрессор GD GSRDNER DENVER	11	20,9	25	ВВГнг 5х2,5	27	25	1,43
РП1	2	Токарный станок СТ16к25Б/1500 СТАНКОМАШСТРОЙ	6,5	15,2	25	ВВГнг 5х2,5	27	18	0,61
РП1	5	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	17	32,3	40	ВВГнг 5х6	46	20	0,74
РП1	6	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	17	32,3	40	ВВГнг 5х6	46	16	0,59
РП1	7	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	17	32,3	40	ВВГнг 5х6	46	12	0,44
РП1	8	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	17	32,3	40	ВВГнг 5х6	46	8	0,29
РП1	15	Холодильный агрегат оборотного водоснабжения ВТХО-6-С-ПВ 1200х700х1850	2,48	5,8	10	ВВГнг 5х2,5	27	20	0,26
РП1	17	Портативный фильтровентиляционный агрегат СовПлим LF-400	2	3,8	10	ВВГнг 5х2,5	27	10	0,10
РП1	20	Тепловые завесы	8	15,2	25	ВВГнг 5х2,5	27	36	1,50
КТП		РП2	46,2	89,5	100	ВВГнг 5х25	115	10	0,24
РП2	3	Гибка 1 GASPARINI PBS 105	11	25,7	31,5	ВВГнг 5х4	38	26	0,93
РП2	4	Гибка 2 GASPARINI X-PRESS XP 115/4000	13	30,4	40	ВВГнг 5х6	46	20	0,56
РП2	9	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	17	32,3	40	ВВГнг 5х6	46	18	0,66
РП2	10	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	17	32,3	40	ВВГнг 5х6	46	14	0,52

Продолжение таблицы 6.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РП2	11	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	17	32,3	40	ВВГнг 5х6	46	10	0,37
РП2	12	Пресс АККЕ2130А.16 для штамповки деталей из ленточного материала	17	32,3	40	ВВГнг 5х6	46	6	0,22
РП2	16	Холодильный агрегат обратного водоснабжения ВТХО-6-С-ПВ 1200х700х1850	2,48	5,8	10	ВВГнг 5х2,5	27	20	0,26
РП2	21	Тепловые завесы	8	15,2	25	ВВГнг 5х2,5	27	18	0,75
КТП	13	Установка контактной сварки TRE.CI s.r.l mod 963 400 В 50 Гц 150 кВА 1200х800х1800 ДхШхВ	97,5	228,2	250	ВВГнг 5х95	260	55	0,73
КТП	14	Установка контактной сварки TRE.CI s.r.l mod 963 400 В 50 Гц 150 кВА 1200х800х1800 ДхШхВ	97,5	228,2	250	ВВГнг 5х95	260	10	0,13
КТП	18	Система приточной вентиляции	26	49,4	63	ВВГнг 5х10	70	10	0,34
КТП	19	Система вытяжной вентиляции	31	58,9	80	ВВГнг 5х16	90	13	0,33
КТП	-	Бытовые розетки в кабинетах	5	7,6	10	ВВГнг 5х2,5	27	70	1,82
КТП	ЩО	Освещение	10,3	16,4	25	ВВГнг 5х2,5	27	8	0,43

6.3 Выбор типа осветительных щитов, проводов и способа их прокладки

Все светильники цеха запитаны от шкафа ЩО, который подключается к трансформаторной подстанции. Питание электроосвещения основного производственного помещения выполняется кабелем ВВГ-5х2,5, остальных помещений ВВГ-3х1,5. Кабели прокладываются в металлорукаве.

Выбор проводников для осветительных сетей осуществляется по расчетному току.

Так мощность осветительных приборов основного производственного помещения равна 9271 ВА, рабочий ток равен 14,1 А, то принимается кабель ВВГ-5х2,5 с длительно-допустимым током $I_{дл.доп.} = 27$ А. Необходимо проверить выбранный кабель на соответствие току расцепителя автоматического выключателя, защищающего данную линию.

$$I_{\text{дл.доп.}} = 27 \text{ А} > I_{\text{рас.ном}} = 16 \text{ А} - \text{верно.}$$

Потеря напряжения в линии определяется по формуле [16]

$$\Delta U = \frac{P \cdot l}{C \cdot F'} \quad (6.20)$$

где P – активная мощность светильников линии, кВт;

l – длина линии, м;

C – коэффициент, $C = 77 \text{ кВт} \cdot \text{м} / \text{мм}^2$;

F – сечение кабеля, мм^2

Для основного производственного помещения

$$\Delta U = \frac{8,9 \cdot 75}{77 \cdot 2,5} = 3,5 \% < 5 \%$$

А значит, выбранный кабель проходит проверку по допустимой потере напряжения.

Аналогичным образом выбираются остальные кабели осветительной сети, результаты расчетов сведены в таблицу 6.6.

Таблица 6.6 - Выбор сечения проводников системы освещения

Наименование отделения	S_p , кВА	I_p , А	Кабель	$I_{\text{дл.доп.}}$, А	l , м	ΔU , %
Основное производственное помещение	8900	14,1	ВВГ-5х2,5	27	75	3,5
Комната для персонала	192	0,3	ВВГ-3х1,5	19	70	0,7
Офис	192	0,3	ВВГ-3х1,5	19	30	0,3
Инвентарная	128	0,2	ВВГ-3х1,5	19	25	0,2
Кабинет мастера	224	0,4	ВВГ-3х1,5	19	20	0,2
Складское помещение	200	0,3	ВВГ-3х1,5	19	15	0,2
Цеховая КТП	300	0,5	ВВГ-3х1,5	19	10	0,2
Вентиляционная	200	0,3	ВВГ-3х1,5	19	15	0,2

7 Проверка селективности работы автоматических выключателей

7.1 Расчёт релейной защиты кабеля от КТП до РП-1

Релейная защита кабеля от КТП до РП-1 выполнена с помощью секционного выключателя QF1.

I ступень – защита от перегруза

Определим расчетный ток уставки электронного расцепителя

$$I_p^{\text{расч}} = k_p \cdot k_n \cdot I_{\text{max.раб}} \quad (7.1)$$

$$I_p^{\text{расч}} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 94,5 = 114,3 \text{ А.}$$

По каталогу выбираем автоматический выключатель ВА51-33 с номинальным током $I_{\text{ном.ав}} = 160 \text{ А}$ [15]. Уставка номинального тока электронного расцепителя составит $I_{p1} = 125 \text{ А}$.

Уставка по току электронного расцепителя при перегрузке определяется по формуле

$$I_{п1} = 1,125 \cdot I_{p1}; \quad (7.2)$$

$$I_{п1} = 1,125 \cdot 125 = 140,6 \text{ А.}$$

По каталогу принимаем уставку по времени срабатывания расцепителя при перегрузке $T_{п1} = 4 \text{ с}$ при $6 \cdot I_p$.

II ступень – селективная токовая отсечка с выдержкой времени

Расчетный ток уставки электронного расцепителя по току срабатывания при коротком замыкании с выдержкой времени

$$I_{\text{к.расч}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{сз}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{max.раб}}, \quad (7.3)$$

$$I_{\text{к.расч}} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,95} \cdot 94,5 = 119,4 \text{ А.}$$

Тогда уставка по току электронного расцепителя при коротком замыкании с выдержкой времени, кратная номинальному току расцепителя составит

$$I_{\text{к1}} = 1,2 \cdot I_{\text{р1}}; \quad (7.4)$$

$$I_{\text{к1}} = 1,2 \cdot 125 = 150 \text{ А.}$$

По каталогу принимаем уставку по времени срабатывания расцепителя при коротком замыкании равной $T_{\text{к}} = 0,25 \text{ с.}$

Определим коэффициент чувствительности

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{к}}} > 1,5, \quad (7.5)$$

где $I_{\text{кз}}^{(2)}$ - ток двухфазного короткого замыкания в месте короткого замыкания, кА

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{кз}}^{(3)}, \quad (7.6)$$

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 8,2 \cdot 10^3 = 7093 \text{ А.}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{7093}{125} = 56,7 > 1,5.$$

Условие выполнено.

III ступень – мгновенная токовая отсечка

Расчетный ток уставки электронного расцепителя по току срабатывания при коротком замыкании без выдержки времени

$$I_{\text{м.расч1}} = 2,6 \cdot I_{\text{к1}}; \quad (7.7)$$

$$I_{\text{м.расч1}} = 2,6 \cdot 150 = 390 \text{ А.}$$

Так как у автоматических выключателей серии ВА уставка электронного расцепителя по току срабатывания при коротком замыкании без выдержки времени не имеет диапазонов и равна $2,6 \cdot I_{\text{к1}}$, то ток уставки принимаем равным расчетному.

Определим коэффициент чувствительности

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{к}}} > 2,0, \quad (7.8)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{7093}{390} = 18,2 > 2,0,$$

условие выполнено.

Предельная отключающая способность выключателя должна быть больше максимального трёхфазного тока КЗ в месте установки выключателя

$$I_{\text{си}} > I_{\text{кз}}^{(3)}, \quad (7.9)$$

$$25 \text{ кА} > 8,2 \text{ кА.}$$

7.2 Расчёт релейной защиты сборных шин 0,4 кВ

Релейная защита сборных шин 0,4 кВ трансформатора выполнена с помощью секционного выключателя QF2.

I ступень – защита от перегруза

Определим расчетный ток уставки электронного расцепителя

$$I_{\text{р}}^{\text{расч}} = k_{\text{р}} \cdot k_{\text{н}} \cdot I_{\text{max.раб}}. \quad (7.10)$$

Ток максимальный рабочий определяется по формуле

$$I_{\text{max.раб}} = \frac{0,7 \cdot S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}}, \quad (7.11)$$

где $S_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА

$$I_{\text{max.раб}} = \frac{0,7 \cdot 160}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 170,4 \text{ А},$$

$$I_{\text{р}}^{\text{расч}} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 170,4 = 206,1 \text{ А}.$$

По каталогу выбираем автоматический выключатель ВА51-37 с - номинальным током $I_{\text{НОМ.ав}} = 400 \text{ А}$ [15].

Уставка номинального тока электронного расцепителя составит

$$I_{\text{р2}} = 0,8 \cdot I_{\text{НОМ.ав}}; \quad (7.12)$$

$$I_{\text{р2}} = 0,8 \cdot 400 = 320 \text{ А}.$$

Уставка по току электронного расцепителя при перегрузке определяется по формуле

$$I_{\text{п2}} = 1,125 \cdot I_{\text{р2}}; \quad (7.13)$$

$$I_{\text{п2}} = 1,125 \cdot 320 = 354 \text{ А}.$$

По каталогу принимаем уставку по времени срабатывания расцепителя при перегрузке $T_{\text{п1}} = 4 \text{ с}$ при $6 \cdot I_{\text{р}}$.

II ступень – селективная токовая отсечка с выдержкой времени

Расчетный ток уставки электронного расцепителя по току срабатывания при коротком замыкании с выдержкой времени

$$I_{\text{к.расч}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{сз}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{max.раб}}, \quad (7.14)$$

$$I_{\text{к.расч}} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,95} \cdot 170,4 = 215,2 \text{ А.}$$

Тогда уставка по току электронного расцепителя при коротком замыкании с выдержкой времени, кратная номинальному току расцепителя составит

$$I_{\text{к2}} = 1,2 \cdot I_{\text{р2}}; \quad (7.15)$$

$$I_{\text{к2}} = 1,2 \cdot 320 = 378 \text{ А.}$$

По каталогу принимаем уставку по времени срабатывания расцепителя при коротком замыкании равной $T_{\text{к}} = 0,25 \text{ с.}$

Определим коэффициент чувствительности

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{к}}} > 1,5, \quad (7.16)$$

где $I_{\text{кз}}^{(2)}$ - ток двухфазного короткого замыкания в месте короткого замыкания, кА

$$K_{\text{ч}} = \frac{7093}{378} = 18,8 > 1,5.$$

Условие выполнено.

III ступень – мгновенная токовая отсечка

Расчетный ток уставки электронного расцепителя по току срабатывания при коротком замыкании без выдержки времени

$$I_{\text{м.расч1}} = 2,6 \cdot I_{\text{к1}}; \quad (7.17)$$

$$I_{\text{м.расч1}} = 2,6 \cdot 378 = 983 \text{ А.}$$

Так как у автоматических выключателей серии ВА уставка электронного расцепителя по току срабатывания при коротком замыкании без выдержки времени не имеет диапазонов и равна $2,6 \cdot I_{\text{к1}}$, то ток уставки принимаем равным расчетному.

Определим коэффициент чувствительности

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к3}}^{(2)}}{I_{\text{к}}} > 2,0, \quad (7.18)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{7093}{983} = 7,2 > 2,0,$$

условие выполнено.

Предельная отключающая способность выключателя должна быть больше максимального трёхфазного тока КЗ в месте установки выключателя

$$I_{\text{су}} > I_{\text{к3}}^{(3)}, \quad (7.19)$$

$$45 \text{ кА} > 8,2 \text{ кА.}$$

7.3 Расчёт релейной защиты трансформатора на стороне 0,4 кВ

Релейная защита трансформатора со стороны 0,4 кВ выполнена с помощью секционного выключателя QF3.

I ступень – защита от перегруза

Определим расчетный ток уставки электронного расцепителя

$$I_{\text{р}}^{\text{расч}} = k_{\text{р}} \cdot k_{\text{н}} \cdot I_{\text{маx.раб}}. \quad (7.20)$$

Ток максимальный рабочий определяется по формуле

$$I_{\text{max.раб}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}}, \quad (7.21)$$

где $S_{\text{НОМ}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА

$$I_{\text{max.раб}} = \frac{1,4 \cdot 160}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 340,7 \text{ А},$$

$$I_{\text{р}}^{\text{расч}} = 1,05 \cdot 1,1 \cdot 340,7 = 393,5 \text{ А}.$$

По каталогу выбираем автоматический выключатель ВА51-37 с - номинальным током $I_{\text{НОМ.ав}} = 400 \text{ А}$ [15].

Уставка номинального тока электронного расцепителя составит

$$I_{\text{р2}} = 1,25 \cdot I_{\text{НОМ.ав}}; \quad (7.22)$$

$$I_{\text{р2}} = 1,25 \cdot 400 = 500 \text{ А}.$$

Уставка по току электронного расцепителя при перегрузке определяется по формуле

$$I_{\text{п2}} = 1,125 \cdot I_{\text{р2}}; \quad (7.23)$$

$$I_{\text{п2}} = 1,125 \cdot 500 = 562,5 \text{ А}.$$

По каталогу принимаем уставку по времени срабатывания расцепителя при перегрузке $T_{\text{п2}} = 4 \text{ с}$ при $6 \cdot I_{\text{р}}$.

II ступень – селективная токовая отсечка с выдержкой времени

Расчетный ток уставки электронного расцепителя по току срабатывания при коротком замыкании с выдержкой времени

$$I_{\text{к.расч}} = \frac{k_{\text{отс}} \cdot k_{\text{сз}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{max.раб}}, \quad (7.24)$$

$$I_{\text{к.расч}} = \frac{1,2 \cdot 1}{0,95} \cdot 340,7 = 430,4 \text{ А.}$$

Тогда уставка по току электронного расцепителя при коротком замыкании с выдержкой времени, кратная номинальному току расцепителя составит

$$I_{\text{к2}} = 1,2 \cdot I_{\text{р2}}; \quad (7.25)$$

$$I_{\text{к2}} = 1,2 \cdot 500 = 600 \text{ А.}$$

По каталогу принимаем уставку по времени срабатывания расцепителя при коротком замыкании равной $T_{\text{к}} = 0,35 \text{ с.}$

Определим коэффициент чувствительности

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{к}}} > 1,5, \quad (7.26)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{7093}{600} = 11,8 > 1,5.$$

Условие выполнено.

III ступень – мгновенная токовая отсечка

Расчетный ток уставки электронного расцепителя по току срабатывания при коротком замыкании без выдержки времени

$$I_{\text{м.расч2}} = 2,6 \cdot I_{\text{к2}}; \quad (7.27)$$

$$I_{\text{м.расч2}} = 2,6 \cdot 600 = 1560 \text{ А.}$$

Так как у автоматических выключателей серии ВА уставка электронного расцепителя по току срабатывания при коротком замыкании

без выдержки времени не имеет диапазонов и равна $2,6 \cdot I_{к1}$, то ток уставки принимаем равным расчетному.

Определим коэффициент чувствительности

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к3}}^{(2)}}{I_{\text{м.расч.}}} > 2,0, \quad (7.28)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{7093}{1560} = 4,5 > 2,0,$$

условие выполняется.

Предельная отключающая способность выключателя должна быть больше максимального трёхфазного тока КЗ в месте установки выключателя

$$I_{\text{св}} > I_{\text{к4}}^{(3)}, \quad (7.29)$$

$$45 \text{ кА} > 8,2 \text{ кА}.$$

Условие справедливо.

7.4 Релейная защита трансформатора

Релейная защита трансформатора ТМГ-160/10/0,4 выполнена с помощью предохранителей типа ПКТ-10.

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя со стороны ВН трансформатора выбирается с учетом отстройки от броска тока намагничивания при включении трансформатора в режиме холостого хода

$$I_{\text{пл.вст.}} > 2 \cdot I_{\text{н.т.}}; \quad (7.30)$$

где $I_{\text{н.т.}}$ - номинальный ток трансформатора на стороне ВН, А.

Номинальный ток трансформатора на стороне ВН определим по формуле

$$I_{\text{н.т.}} = \frac{S_{\text{н.т.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}; \quad (7.31)$$
$$I_{\text{н.т.}} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9,2 \text{ А};$$

тогда

$$I_{\text{пл.вст.}} > 2 \cdot 9,2 = 18,4 \text{ А.}$$

Значит, выбираем плавкую вставку типа ПКТ-10 с ближайшим током $I_{\text{F1.н}} = 25 \text{ А}$.

Теперь необходимо произвести проверку селективности защит. Согласование защитных ВТХ выключателя QF2 и предохранителя F1 можно проверить только при построении время-токовых характеристик. Данное согласование приведено на диаграмме селективности в графической части.

Выбранный плавкий предохранитель проверим на чувствительность к минимальным токам КЗ, за трансформатором

$$K_{\text{ч.F1}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(2)}}{I_{\text{F1.н}} \cdot K_{\text{тн}}} \geq K_{\text{ч.доп}} \quad (7.32)$$

где $K_{\text{тн}}$ – коэффициент трансформации силового трансформатора,

$$K_{\text{тн}} = \frac{U_{\text{ВН}}}{U_{\text{НН}}}, \quad (7.33)$$
$$K_{\text{тн}} = \frac{10000}{400} = 25,$$

$I_{\text{кз}}^{(2)}$ - ток двухфазного короткого замыкания на стороне НН трансформатора, кА

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{кз}}^{(2)}; \quad (7.34)$$

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 8,9 \cdot 10^3 = 7699 \text{ А};$$

$$K_{\text{ч.Ф1}} = \frac{7699}{25 \cdot 25} = 12,3 \geq 3.$$

Условие выполнено.

Последним этапом выбора плавкого предохранителя, является проверка по отключающей способности

$$I_{\text{п.о.}} > I_{\text{кз}}^{(3)}; \quad (7.35)$$

где $I_{\text{п.о.}}$ - предельно отключаемый ток предохранителя, кА;

$I_{\text{кз}}^{(3)}$ - максимальный ток КЗ в месте установки предохранителя, кА.

$$20 \text{ кА} > 8,9 \text{ кА}.$$

8 Выбор системы защитного заземления ТП

Расчёт ЗУ выполняется с учетом следующих данных:

- грунт - суглинок;
- вертикальные электроды выполнены стальной трубой $d = 55$ мм длиной $l = 3,5$ м;
- горизонтальные электроды – сталь полосовая 40×4 мм;
- вертикальные электроды располагаются на расстоянии $a = 3,5$ м друг от друга;
- горизонтальные электроды заглубляются в землю на глубину $c = 0,7$ м.

Устанавливается требуемое согласно ПУЭ допустимое сопротивление ЗУ:

$$R_H = 4 \text{ Ом.}$$

Определяем расчётное удельное сопротивление грунта с учётом коэффициентов, которые учитывают высыхания грунта в летнее время и промерзание в зимнее время.

Выбирают величины коэффициентов, которые учитывают высыхание грунта в летнее время и промерзание в зимнее время.:

$$k_B = 1,8;$$

$$k_T = 1,8.$$

По справочникам выбираем удельное сопротивление грунта – суглинок $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ [11]

$$\rho_{\text{расч.в}} = k_g \cdot \rho; \tag{8.1}$$

где $k_B = 1,8$ - коэффициент высыхания грунта в летнее время

$$\rho_{\text{расч.в}} = 1,8 \cdot 100 = 180 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Рассчитывается сопротивление растеканию одного вертикального заземлителя [11]:

$$R_{г.о.} = \frac{\rho_{\text{расч.в}}}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right); \quad (8.2)$$

где l - длина вертикального заземлителя, м;

t - расстояние от поверхности земли до середины заземлителя [11], м

$$t = c + \frac{l}{2}; \quad (8.3)$$

$$t = 0,7 + \frac{3,5}{2} = 2,45 \text{ м};$$

$$R_{г.о.} = \frac{180}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3,5}{0,055} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,45 + 3,5}{4 \cdot 2,45 - 3,5} \right) = 42,75 \text{ Ом}.$$

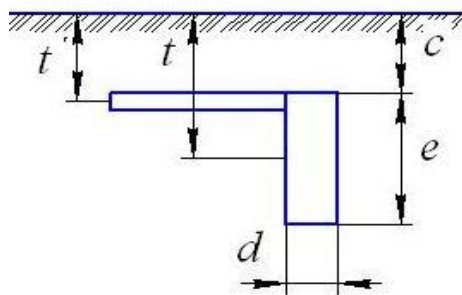


Рисунок 8.1 - Схема размещения электродов

Определяется примерное количество вертикальных электродов при предварительно принятом коэффициенте использования [11]:

$$n_{\epsilon} = \frac{R_{\text{в.о.}}}{\eta_{\epsilon} \cdot R_{\text{н}}}; \quad (8.4)$$

где $\eta_{\epsilon} = 0,55$, так как $\frac{a}{l} = \frac{3,5}{3,5} = 1,0$ - коэффициент использования.

$$n_{\epsilon} = \frac{42,75}{0,55 \cdot 4} = 19,43 \approx 20 \text{ шт.}$$

Рассчитывается сопротивление растеканию горизонтальных заземлителей [11]:

$$R_2 = \frac{\rho_{\text{расч.г}}}{2\pi \cdot l_2} \left(\ln \frac{2 \cdot l_2^2}{b \cdot t'} \right); \quad (8.5)$$

где b - ширина горизонтальных электродов, м

t' - расстояние от поверхности земли до середины высоты соединительной полосы [11]:

$$\rho_{\text{расч.г}} = k_2 \cdot \rho; \quad (8.6)$$

$$\rho_{\text{расч.г}} = 4,5 \cdot 100 = 450 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$t' = c + \frac{b}{2}; \quad (8.7)$$

$$t' = 0,7 + \frac{0,04}{2} = 0,72 \text{ м.}$$

Рассчитывается длина соединительной полосы [11]:

$$l_2 = 1,05 \cdot n \cdot a; \quad (8.8)$$

где a - расстояние между вертикальными заземлителями, M .

$$l_2 = 1,05 \cdot 20 \cdot 3,5 = 73,5 \text{ м};$$

$$R_2 = \frac{450}{2 \cdot 3,14 \cdot 73,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 73,5^2}{0,04 \cdot 0,72} \right) = 11,5 \text{ Ом}.$$

Уточняем требуемое сопротивление вертикальных заземлителей с учетом сопротивления соединительных горизонтальных заземлителей [11]:

$$R_6 = \frac{R_2 \cdot R_H}{R_2 - R_H}; \quad (8.9)$$

$$R_6 = \frac{11,5 \cdot 4}{11,5 - 4} = 6,1 \text{ Ом}.$$

Уточняется количество вертикальных заземлителей с учетом сопротивления соединительных горизонтальных заземлителей [11]:

$$n_6 = \frac{R_{г.о.}}{\eta_6 \cdot R_6}; \quad (8.10)$$

$$n_6 = \frac{42,75}{0,55 \cdot 6,1} = 12,74 \approx 13 \text{ шт}.$$

Рассчитывается сопротивление разработанного ЗУ [11]:

$$R_3 = \frac{R_2 \cdot R_6}{R_2 + R_6}; \quad (8.11)$$

$$R_3 = \frac{11,5 \cdot 6,1}{11,5 + 6,1} = 4,0 \text{ Ом.}$$

Так как сопротивление ЗУ удовлетворяет требованиям ПУЭ, то можно сделать вывод, что расчет выполнен верно.

9 Молниезащита здания производственного цеха

Согласно СО 153-34.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций [6]. В качестве молниеприемника служит металлическая сетка, уложенная на кровле здания из стали круглой Ду 8мм с шагом ячейки 5х5м. Токоотводы от молниеприемной сетки проложить к заземлителям не реже 25 м по периметру здания. Токоотводы, прокладываемые по наружной стене здания, расположить не ближе, чем в трех метрах от входов в местах, не доступных для прикосновения людей. В качестве токоотводов используется сталь круглая Ду 10мм. В качестве заземлителей защиты от прямых ударов молнии использовать систему заземления здания. В целях электробезопасности необходимо выполнять требования главы 1.7. ПУЭ.

Защита от вторичных воздействий молнии.

Для защиты от заноса высокого потенциала по внешним металлическим коммуникациям их необходимо на вводе коммуникаций в здание присоединить к заземлителю системы молниезащиты. Соединение выполнить стальной полосой сечением 40х4.

Для защиты людей в шахтах лифтов от шаговых напряжений и напряжения прикосновения, могущих возникнуть на полу и подъемном оборудовании, в шахтах вокруг упомянутого оборудования уложить контур.

Контур выполнить из стальной полосы 40х4. Контур выполнить на горизонте +12,00 +27,00 и +39,00 м. Для выравнивания потенциалов, металлические части каркаса подъемных механизмов соединить с контурами. Соединить контур защиты лифтов с ГЗШ.

Все соединения выполнить сваркой.

Предусмотреть антикоррозийное покрытие всех элементов системы молниезащиты. Для защиты элементов системы от почвенной коррозии, покрыть его элементы битумной мастикой МБР-65.

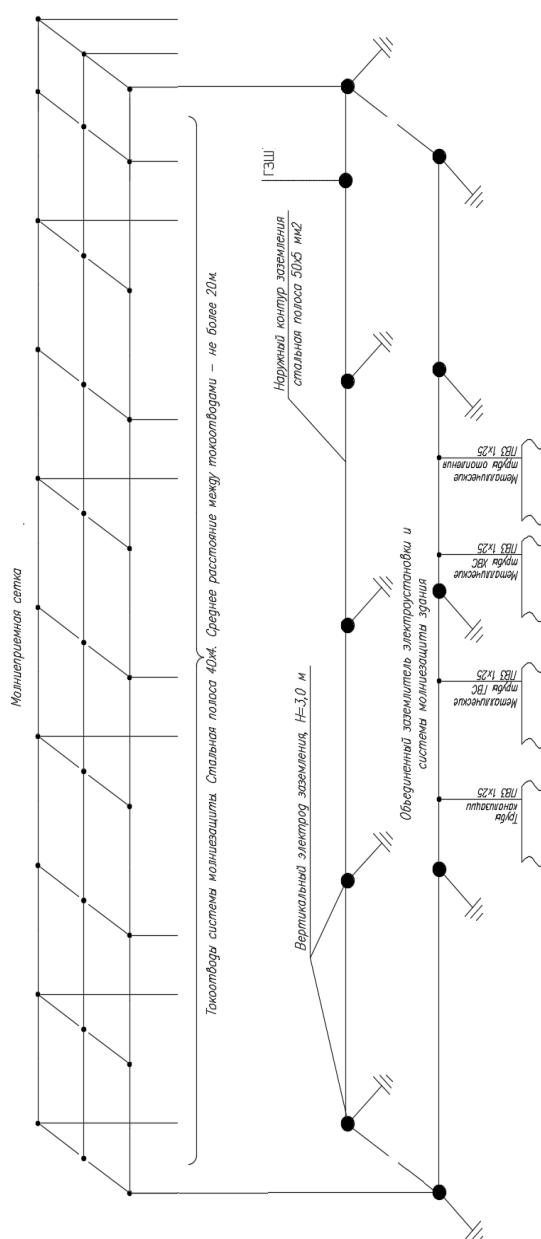


Рисунок 9.1 - Схема молниезащиты здания

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе разработан проект системы электроснабжения производственного цеха ООО «АСТ Системы».

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- приведены общие сведения о ООО «АСТ Системы»;
- рассчитаны электрические нагрузки производственного цеха ООО «АСТ Системы» в соответствии с использованным оборудованием;
- выбраны силовые трансформаторы ТМГ-160/10/0,4 трансформаторной подстанции цеха с учетом установки двух конденсаторных установок УKM58-0,38-100-25 УЗ для компенсации реактивной мощности;
- выбрана и обоснована схема электроснабжения, наиболее приемлемая для данного производственного цеха;
- рассчитаны токи короткого замыкания, подобрано соответствующее оборудование для защиты;
- выбрано электрооборудование цеха и проводники. В РУ 10 кВ ТП выбраны распределительные устройства КСО-366. Для установки в КСО-366 на вводе в ТП применяются выключатели нагрузки ВНРп-10/400 УЗ в сочетании с предохранителями ПКТ103-10-12,5/20 УЗ.
- проверена селективность работы автоматических выключателей, которая позволяет исключить неправильное отключение при нестандартных ситуациях;
- выбрана система защитного заземления ТП, предназначенная для защиты персонала и аппаратуры;
- разработана молниезащита здания производственного цеха, выполненная для защиты оборудования и обслуживающего персонала;
- выбрано оптимальное освещение цеха.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 28249-93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока до 1 кВ».
2. Правила устройства электроустановок: 7-е изд.
3. Приказ Минэнерго РФ от 23.06.2015 N 380 "О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии" (Зарегистрировано в Минюсте РФ 22.07.2015 N 38151)
4. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» - М: Энергоатомиздат, 1999. – 131 с.
5. РТМ 36.18.32.4-92 Руководящие указания по расчету электрических нагрузок»
6. СО 153-34.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций
7. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
8. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина [и др.]; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. «Электроснабжение и электротехника». – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 78 с. – Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>
9. Вахнина, В.В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина [и др.] ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. «Электроснабжение и электротехника». – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. – 46 с. – Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>
10. Конюхова, Е.А. Электроснабжение [Электронный ресурс]: учебник

/ Е.А. Конюхова. – М. : Издательский дом МЭИ, 2015. – 510 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72338>

11. Липатов А.А. Назначение, применение, устройство и расчет заземления оборудования. Волгоград: ВолгГТУ, 2016. — 64 с.

12. Макаренко С.И. Проектирование и монтаж электрического освещения жилых и общественных зданий. — Харьков: Стройиндустрия, 2019. — 187 с.

13. Суворин А.В. Электромонтер строительных объектов. / А.В.Суворин. — Ростов н/Д: Феникс, 2018. — 536 с.

14. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.Н. Ополева. – М. : Форум; ИНФРА-М, 2018. – 416 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=953158&spec=1>

15. Шеховцов, В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учеб. пособие / В.П. Шеховцов. – 3-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 136 с. – (Среднее профессиональное образование). – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/1000152>

16. Силовые трансформаторы Сайт электротехнического завода имени В.И. Козлова [Электронный ресурс] URL: <http://metz.by>

17. Установки компенсации реактивной мощности завода «СлавЭнерго» [Электронный ресурс] URL: <http://slavenergo.ru>

18. Технические характеристики распределительных пунктов <http://www.electroproekt.ru/punkty-raspredelitelnye-pr8501>

19. Технические характеристики светильников PHB SMD Reflector 120 градусов 100W/150W <http://www.jazz-way.com/catalog/vnutrennee-osveshchenie/promyshlennoe-osveshchenie-1/phb-smd-2/>

20. Технические характеристики светильников l-office <https://ledel.ru/products/hit-sale/l-office-32.html>

21. Control Design - Technology Report: I/O Terminal Blocks & Power Supplies 2018. Putman Media. — 22 p.

22. Kharchenko V., Vasant P. Renewable Energy and Power Supply Challenges for Rural Regions. Hershey, USA: IGI Global, 2019. — 459 p.
23. Kobayashi Haruo, Nabeshima Takashi. Handbook of Power Management Circuits. Pan Stanford, 2016. — 389 p.
24. Mazur D., Golebiowski M., Korkosz M. (eds.) Analysis and Simulation of Electrical and Computer Systems. New York: Springer, 2017. — 444 p.
25. Patin N. Power Electronics Applied to Industrial Systems and Transports, Volume 3: Switching Power Supplies. New York: ISTE Press Ltd, 2015. — 168 p.

9 Молниезащита здания производственного цеха

Согласно СО 153-34.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций [6]. В качестве молниеприемника служит металлическая сетка, уложенная на кровле здания из стали круглой Ду 8мм с шагом ячейки 5х5м. Токоотводы от молниеприемной сетки проложить к заземлителям не реже 25 м по периметру здания. Токоотводы, прокладываемые по наружной стене здания, расположить не ближе, чем в трех метрах от входов в местах, не доступных для прикосновения людей. В качестве токоотводов используется сталь круглая Ду 10мм. В качестве заземлителей защиты от прямых ударов молнии использовать систему заземления здания. В целях электробезопасности необходимо выполнять требования главы 1.7. ПУЭ.

Защита от вторичных воздействий молнии.

Для защиты от заноса высокого потенциала по внешним металлическим коммуникациям их необходимо на вводе коммуникаций в здание присоединить к заземлителю системы молниезащиты. Соединение выполнить стальной полосой сечением 40х4.

Для защиты людей в шахтах лифтов от шаговых напряжений и напряжения прикосновения, могущих возникнуть на полу и подъемном оборудовании, в шахтах вокруг упомянутого оборудования уложить контур. Контур выполнить из стальной полосы 40х4. Контур выполнить на горизонте +12,00 +27,00 и +39,00 м. Для выравнивания потенциалов, металлические части каркаса подъемных механизмов соединить с контурами. Соединить контур защиты лифтов с ГЗШ.

Все соединения выполнить сваркой.

Предусмотреть антикоррозийное покрытие всех элементов системы молниезащиты. Для защиты элементов системы от почвенной коррозии, покрыть его элементы битумной мастикой МБР-65.

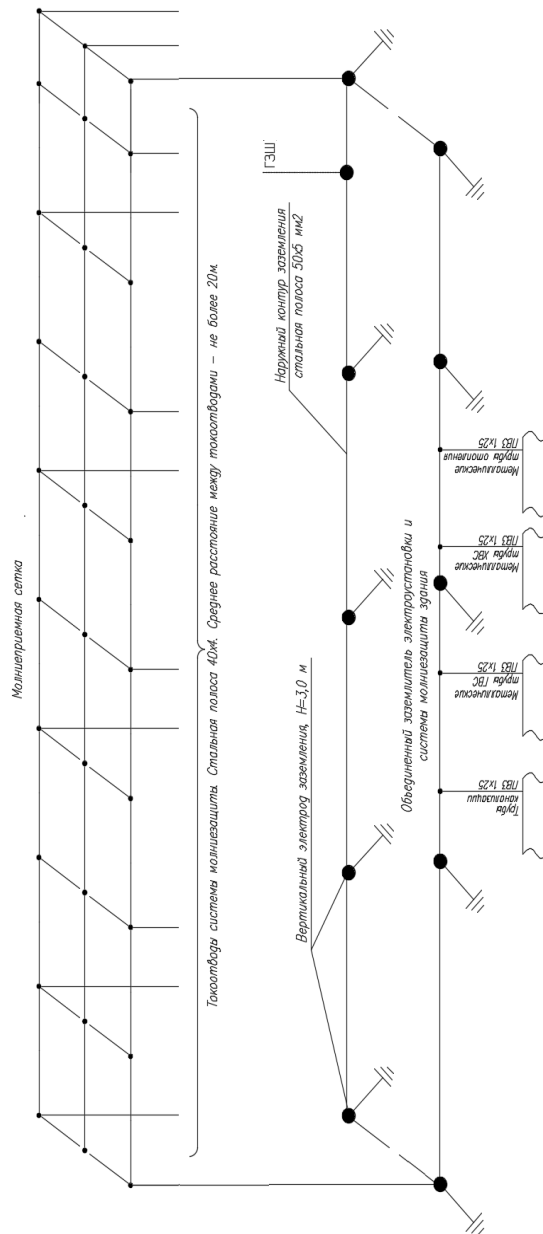


Рисунок 9.1 - Схема молниезащиты здания

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе разработан проект системы электроснабжения производственного цеха ООО «АСТ Системы».

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- приведены общие сведения о ООО «АСТ Системы»;
- рассчитаны электрические нагрузки производственного цеха ООО «АСТ Системы» в соответствии с использованным оборудованием;
- выбраны силовые трансформаторы ТМГ-160/10/0,4 трансформаторной подстанции цеха с учетом установки двух конденсаторных установок УKM58-0,38-100-25 УЗ для компенсации реактивной мощности;
- выбрана и обоснована схема электроснабжения, наиболее приемлемая для данного производственного цеха;
- рассчитаны токи короткого замыкания, подобрано соответствующее оборудование для защиты;
- выбрано электрооборудование цеха и проводники. В РУ 10 кВ ТП выбраны распределительные устройства КСО-366. Для установки в КСО-366 на вводе в ТП применяются выключатели нагрузки ВНРп-10/400 УЗ в сочетании с предохранителями ПКТ103-10-12,5/20 УЗ.
- проверена селективность работы автоматических выключателей, которая позволяет исключить неправильное отключение при нестандартных ситуациях;
- выбрана система защитного заземления ТП, предназначенная для защиты персонала и аппаратуры;
- разработана молниезащита здания производственного цеха, выполненная для защиты оборудования и обслуживающего персонала;
- выбрано оптимальное освещение цеха.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

26. ГОСТ 28249-93 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока до 1 кВ».

27. Правила устройства электроустановок: 7-е изд.

28. Приказ Минэнерго РФ от 23.06.2015 N 380 "О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии" (Зарегистрировано в Минюсте РФ 22.07.2015 N 38151)

29. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» - М: Энергоатомиздат, 1999. – 131 с.

30. РТМ 36.18.32.4-92 Руководящие указания по расчету электрических нагрузок»

31. СО 153-34.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций

32. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95

33. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина [и др.]; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. «Электроснабжение и электротехника». – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 78 с. – Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>

34. Вахнина, В.В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина [и др.] ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. «Электроснабжение и электротехника». – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. – 46 с. – Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>

35. Конюхова, Е.А. Электроснабжение [Электронный ресурс]: учебник

/ Е.А. Конюхова. – М. : Издательский дом МЭИ, 2015. – 510 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72338>

36. Липатов А.А. Назначение, применение, устройство и расчет заземления оборудования. Волгоград: ВолгГТУ, 2016. — 64 с.

37. Макаренко С.И. Проектирование и монтаж электрического освещения жилых и общественных зданий. — Харьков: Стройиндустрия, 2019. — 187 с.

38. Суворин А.В. Электромонтер строительных объектов. / А.В.Суворин. — Ростов н/Д: Феникс, 2018. — 536 с.

39. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.Н. Ополева. – М. : Форум; ИНФРА-М, 2018. – 416 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=953158&spec=1>

40. Шеховцов, В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учеб. пособие / В.П. Шеховцов. – 3-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 136 с. – (Среднее профессиональное образование). – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/1000152>

41. Силовые трансформаторы Сайт электротехнического завода имени В.И. Козлова [Электронный ресурс] URL: <http://metz.by>

42. Установки компенсации реактивной мощности завода «СлавЭнерго» [Электронный ресурс] URL: <http://slavenergo.ru>

43. Технические характеристики распределительных пунктов <http://www.electroproekt.ru/punkty-raspredelitelnye-pr8501>

44. Технические характеристики светильников РНВ SMD Reflector 120 градусов 100W/150W <http://www.jazz-way.com/catalog/vnutrennee-osveshchenie/promyshlennoe-osveshchenie-1/phb-smd-2/>

45. Технические характеристики светильников l-office <https://ledel.ru/products/hit-sale/l-office-32.html>

46. Control Design - Technology Report: I/O Terminal Blocks & Power Supplies 2018. Putman Media. — 22 p.

47. Kharchenko V., Vasant P. Renewable Energy and Power Supply Challenges for Rural Regions. Hershey, USA: IGI Global, 2019. — 459 p.
48. Kobayashi Haruo, Nabeshima Takashi. Handbook of Power Management Circuits. Pan Stanford, 2016. — 389 p.
49. Mazur D., Golebiowski M., Korkosz M. (eds.) Analysis and Simulation of Electrical and Computer Systems. New York: Springer, 2017. — 444 p.
50. Patin N. Power Electronics Applied to Industrial Systems and Transports, Volume 3: Switching Power Supplies. New York: ISTE Press Ltd, 2015. — 168 p.