

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение группы цехов тяжелого машиностроения

Студент

А.В. Варламов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

И.В. Горохов

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

Тольятти 2021

Аннотация

В проекте разработана система электроснабжения цеха обработки корпусных деталей и группы цехов завода тяжелого машиностроения в целом. Произведен выбор схемы распределительной сети завода и ее напряжения. Выбраны трансформаторы главной понизительной подстанции и цеховые трансформаторные подстанции с учетом компенсации реактивной мощности. Выбрана схема ГПП и требуемая защитно-коммутирующая аппаратура, а так же приборы контроля и учета электроэнергии. Произведен выбор сечения и типа кабеля распределительной сети завода. Выбран вид схемы и напряжение распределительной сети цеха. Произведен расчет токов короткого замыкания. Произведен выбор шинпроводов и защитно-коммутирующей аппаратуры. Рассчитано рабочее и аварийное освещение, выбраны сечения и типы проводников, а также защитно-коммутирующая аппаратура. Рассчитано заземление и молниезащита. Рассчитана релейная защита трансформаторов ГПП.

Содержание

Введение.....	4
1. Обоснование актуальности разрабатываемой темы. Краткая характеристика группы цехов тяжелого машиностроения.....	5
2. Электроснабжение цеха обработки корпусных деталей.....	9
2.1 Расчет нагрузок цеха.....	9
2.2 Выбор числа, мощности и места расположения трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.....	12
2.3 Светотехнический расчет цеха	15
2.4 Выбор элементов распределительной сети.....	24
2.5 Расчет токов КЗ в сети низкого напряжения.....	27
3. Расчет распределительной сети проектируемого завода.....	31
3.1 Расчет электрических нагрузок завода.....	31
3.2 Определение мощности трансформаторов подстанций.....	32
3.3 Расчет главной понизительной подстанции.....	33
4. Расчет релейной защиты.....	52
5. Электробезопасность.....	62
Заключение.....	73
Список используемых источников.....	74
Приложение А Список нагрузок цеха №6.....	78
Приложение Б Распределения нагрузок.....	79
Приложение В Расчет осветительной сети цеха №6.....	84
Приложение Г Результаты расчета нагрузок завода.....	85

Введение

Главными потребителями электроэнергии являются промышленные предприятия, расходующие более 70% всей вырабатываемой электроэнергии. Современные электроустановки и оборудование оснащаются комплектными РУ, подстанциями, токопроводами и системами автоматизированного электрооборудования, что бы обеспечить экономичную и надежную работу.

Актуальность выполненной работы определяется необходимостью разработки проектов электроснабжения для новых, строящихся производств с использованием современного электрооборудования и созданием предприятий, отвечающих современным требованиям.

Совокупность устройств для производства, передачи и распределения электроэнергии называются – системой электроснабжения. Системы электроснабжения промышленных предприятий создаются для обеспечения питания электроэнергией электроприемников предприятия и должны отвечать следующим технико-экономическим требованиям:

- обладать минимальными затратами при соблюдении всех технических показателей;
- обеспечивать требуемую надежность электроснабжения и надлежащее качество электрической энергии;
- быть удобны в эксплуатации и безопасны в обслуживании;
- иметь достаточную гибкость, позволяющую обеспечивать оптимальные режимы работы, как в нормальном, так и в послеаварийном режимах.

При выполнении всех перечисленных требований система электроснабжения предприятия будет экономически эффективна безопасна и надежна по протяжении долгого времени.

1 Обоснование актуальности разрабатываемой темы. Краткая характеристика группы цехов тяжелого машиностроения

На сегодняшний день без распределения электроэнергии наша жизнь немислима. Электроэнергетика находится во все сферы деятельности людей: промышленности и сельском хозяйстве, науке и космосе. Главным потребителем электрической энергии остается промышленность, хотя ее объём в общем полезном потреблении электроэнергии значительно уменьшается.

Электроэнергия в промышленности применяется для приведения в действие различных механизмов и непосредственно в технологических процессах.

Актуальность выполненной работы определяется необходимостью разработки проектов электроснабжения для новых, строящихся производств с использованием современного электрооборудования и созданием предприятий, отвечающих современным требованиям.

На проектируемом предприятии предполагается выпускать следующую продукцию:

- трубопроводная арматура: затворы дисковые, задвижки (ножевые, стальные, чугунные), клапаны обратные, краны шаровые, фланцы, муфты.
- емкостное оборудование: сосуды горизонтальные цилиндрические, сепараторы нефтегазовые типа НГС, факельные сепараторы (ФС), теплообменники с плавающей головкой и типа труба в трубе, воздухооборники вертикальные (ресиверы газа), емкости для нефтепродуктов и ГСМ, резервуары типов РДХ, РГС, РВС, резервуары металлические для хранения технической воды, фильтры сетчатые дренажные жидкостные (СДЖ), колонны сорбции.
- резервуарное оборудование: резервуар (вертикальный, горизонтальный, пожарные, для хранения воды, насосных станций).

Основные цеха относятся к первой и второй категориям по надежности электроснабжения.

Так же на заводе имеются менее ответственные вспомогательные цеха такие как: инструментальный – цех №1, ремонтный – цех №2, опытный – цех №3, котельно-компрессорный – цех №8, строительный – цех №9 и транспортный – цех №14.

Рассмотрим технологический процесс на примере изготовления Сепаратора нефтегазового типа НГС с дисковым поворотным затвором. Для его изготовления требуется пройти ряд упорядоченных последовательных операций в основных цехах:

В модельном, Цех №4 – изготавливается деревянная и металлическая оснастка, высококачественные и надежные пресс-формы для литейного производства на станках средней и высокой мощности: дерево и металлообрабатывающие.

В литейно-кузнечном, Цех №5 – производится отливка заготовок дисков и корпусов затворов по формам, ковку и термическую обработку деталей (отжиг, закалку, нормализацию, отпуск).

В цехе №6 обработки корпусных деталей – выполняется шлифовка и проточка дисков и корпусов заготовок затворов на шлифовальных, фрезерных, сверлильных и токарных станках средней и высокой мощности.

В штамповочном цехе №7 – выполняется штамповка заготовок емкости сепаратора на металлогибочных станках, прессах и холодной прокатки.

Цех №10 сварочный – производит сварку сепараторов из заготовок с помощью аппаратов стыковой, шовной и точечной сварки, нагревателей заклепок и другого оборудования.

Цех №11 покрасочный – оснащен сушильными шкафами, гальваническими ваннами, высокопроизводительными компрессорами для покрасочного оборудования, которым осуществляется покраска и покрытие

деталей дисковых затворов и емкостей сепараторов для защиты от коррозии и для повышения износостойких свойств.

В сборочном цехе №13 – производится сборка дисковых поворотных затворов и установка их на сепаратор.

В тарном цехе №14 – производится тара, осуществляет упаковку готовой продукции для хранения и транспортировки. Потребителями данного цеха являются пилорамы и приводы конвейеров и манипуляторов.

Категории надежности сведены в таблицу 1

Таблица 1 – Категории цехов по надежности

Название цеха	Категория по надежности электроснабжения по ПУЭ [17]	Обоснование
1. Инструментальный	3	Вспомогательный, изготавливает инструменты для оборудования
2. Ремонтный	2	Обеспечивает работоспособность оборудования причастного к технологическому процессу
3. Опытный	2	Приводит массовым простоям рабочих и механизмов
4. Модельный	2	Является частью технологического процесса
5. Литейно-кузнечный	1	Может повлечь: Значительный материальный ущерб и нарушение сложного технологического процесса
6. Обработки корпусных деталей	2	Является частью основного технологического процесса
7. Штамповочный	2	Является частью технологического процесса приводит к массовому недоотпуску продукции
8. Котельно-компрессорный	1	Может повлечь за собой опасность для жизни людей и нарушение функционирования особо важных элементов
9. Строительный	3	Вспомогательный, не влияет на основной технологический процесс, изготавливает материалы и оборудование для постройки новых сооружений
10. Сварочный	2	Является частью технологического процесса
11. Покрасочный	2	Является частью технологического процесса
12. Транспортный	3	Вспомогательный, не влияет на основной технологический процесс
13. Сборочный	2	Является частью технологического процесса приводит к массовому недоотпуску продукции
14. Тарный	3	Вспомогательный

Вывод к разделу 1

Рассмотрены технологические процесс на примере изготовления Сепаратора нефтегазового типа НГС с дисковым поворотным затвором. Для его изготовления требуется пройти ряд упорядоченных последовательных операций в основных цехах в составе 14 шт. Так же на заводе имеются менее ответственные вспомогательные цеха такие как: инструментальный – цех №1, ремонтный – цех №2, опытный – цех №3, котельно-компрессорный – цех №8, строительный – цех №9 и транспортный – цех №14. Определены категории этих потребителей, в них входят 4 потребителя «3 категории», 8 потребителей «2 категории» и 2 потребителя «1 категории». Это говорит о необходимости создания особых условий для потребителей, но также нужно учесть потребляемую мощность.

2 Электроснабжение цеха обработки корпусных деталей

2.1 Расчет нагрузок цеха

В настоящее время существует несколько методов, с помощью которых можно узнать ожидаемые нагрузки вновь добавившихся цехов промышленных предприятий.

Для расчета воспользуемся методом коэффициента максимума. По этому методу расчетная активная нагрузка электроприемников определяется по среднесменной нагрузке и коэффициенту максимума.

«Электроприемники разбиваются на группы с одинаковыми значениями $K_{\text{и}}$ и $\text{tg}\varphi$. Величины $K_{\text{и}}$ и $\text{tg}\varphi$ (в соответствии с $\cos\varphi$) для каждой группы находят по справочнику» [30].

Номинальные мощности электроприемников приведены в «Приложение А».

Произведем расчет ШРА 1:

Для группы «карусельно-фрезерный станок» из $n=2$ электроприемников определяется суммарная номинальная мощность:

Определим мощность группы «карусельно-фрезерный станок», электроприемники №4-5:

$$P_{\text{ном.}j} = \sum_1^n P_{\text{ном.}i} = 2 \cdot 80 = 160 \text{ кВт}, \quad (1)$$

где $P_{\text{ном.}i}$ – номинальная мощность электроприемника.

Определяется величина отношения наибольшей мощности электроприемника к наименьшей подключенных к ШРА1:

$$m = \frac{P_{\text{ном.макс}}}{P_{\text{ном.мин}}} = \frac{80}{0,6} = 133, \quad (2)$$

где $P_{ном.мах}=80$ кВт, электрические приемники 4-5, – максимальная мощность из номинальных мощностей электроприемников, кВт.

$P_{ном.мин}=0,6$ кВт, электрический приемник 1 – минимальная мощность из номинальных мощностей электроприемников, кВт.

Определяются средние нагрузки группы «карусельно-фрезерный станок» за максимально загруженную смену:

$$P_{ср.мах.j} = K_{и} \cdot P_{ном.j} = 160 \cdot 0,2 = 32 \text{ кВт}, \quad (3)$$

$$Q_{ср.мах.j} = P_{ср.мах.j} \cdot tg\varphi = 32 \cdot 1,17 = 37,44 \text{ квар}, \quad (4)$$

где $K_{и}=0,2$ – коэффициент использования;

$tg\varphi = 1,17$ - исходя из $cos\varphi$ для группы электроприемников.

После этого суммируются средние нагрузки всех групп ШРА1 и по полученным значениям $\Sigma P_{ср.мах.j}$ и $\Sigma Q_{ср.мах.j}$ находят среднее значение:

$$K_{и} = \frac{\sum P_{ср.мах.j}}{\sum P_{ном}} = \frac{82,41}{290} = 0,195 \quad (5)$$

$$tg\varphi = \frac{\sum Q_{ср.мах.j}}{\sum P_{ср.мах.j}} = \frac{87,45}{82,41} = 1,2 \quad (6)$$

Произведенные расчеты дают возможность далее определить эффективное число электроприемников:

$$n_3 = \frac{\left[\sum_1^n P_{ном} \right]^2}{\sum_1^n P_{ном}^2} = \quad (7)$$

$$= \frac{290^2}{0,6^2 \cdot 1 + 47,8^2 \cdot 1 + 80^2 \cdot 2 + 28,3^2 \cdot 2 + 25^2 \cdot 1} = 4,86 \text{ э.п.,}$$

где $\sum_1^n P_{ном}$ - сумма номинальных мощностей всех групп ШРА1;

В зависимости от срезных значений K_n и n_3 по кривым и таблицам находят значения коэффициента максимума K_{max} [25].

$$K_{max} = 2,465$$

С помощью K_{max} определяются расчетные нагрузок (мощности):

Активная

$$P_p = K_{max} \cdot \sum P_{cp,max,j} = 2,465 \cdot 82,41 = 165,03 \text{ кВт} \quad (8)$$

Реактивной

$$Q_{max} = 1,1 \cdot \sum Q_{cp,max,j} = 1,1 \cdot 87,451 = 96,2 \text{ квар} \quad (9)$$

Полной

$$S_{max} = \sqrt{P_{max}^2 + Q_{max}^2} = \sqrt{165,03^2 + 96,2^2} = 191 \text{ кВА} \quad (10)$$

Тока

$$I_{max} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{191}{\sqrt{3} \cdot 380} = 290 \text{ А} \quad (11)$$

Расчет остальных нагрузок производится аналогичным образом, результаты расчетов сведены в таблицу «Приложение Б»

2.2 Выбор числа, мощности и места расположения трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности

Для данного цеха применяется напряжение 380/220 В, так как технологическое оборудование питается напряжением 380, а приемники вспомогательных помещений и осветительные установки 220 В.

Определяем ориентировочное число и мощности цеховых трансформаторов по удельной плотности σ_n нагрузки по формуле:

$$\sigma_n = \frac{S_p}{F} = \frac{1109,62}{72 \cdot 48} = 0,32 \text{ кВА/м}^2, \quad (12)$$

где $S_p = 1109,62$ кВА из пункта расчета нагрузок цеха – расчетная нагрузка;

$F = 72 \times 48$ – площадь цеха, м².

«При плотности нагрузки напряжением 380 В более 0,3кВА/м² целесообразно применять трансформаторы мощностью до 1600кВА включительно» [25].

Находим оптимальное число трансформаторов по выражению:

$$N_{onm} = N_{min} + m = 2 + 0 = 2 \text{ шт.}, \quad (13)$$

где N_{onm} - экономически оптимальное число трансформаторов;

$N_{min} = 2$ исходя из условия надежности - минимальное число трансформаторов;

m – дополнительно установленные трансформаторы.

Находим мощность трансформатора по средней активной мощности за наиболее загруженную смену по формуле:

$$S_{ном.Т} = \frac{P_{cp.max}}{(K_3 \cdot N_{onm})} = \frac{597,38}{(0,7 \cdot 2)} = 426,7 \text{ кВА}, \quad (14)$$

где $P_{cp.max} = 597,38$ кВт из пункта расчета нагрузок цеха - средняя активная мощность за наиболее загруженную смену, кВт;

$K_3 = 0,7$ - коэффициент загрузки трансформатора исходя из условий надежности.

Проверяем минимальное число цеховых трансформаторов по выражению:

$$N_{min} = \frac{P_{cp.max}}{K_3 \cdot S_{ном.Т}} + \Delta N = \frac{597,379}{0,5 \cdot 630} + 0,1 = 2 \text{ шт.}, \quad (15)$$

«Принимается одна комплектная двух трансформаторная подстанция мощностью 630 кВА с трансформаторами ТМГ(Ф)-СЭЩ-630.

Определим наибольшую реактивную мощность, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть напряжением до 1кВ» [22], определяют по формуле:

$$\begin{aligned} Q_{max.T} &= \sqrt{(N_{ном} \cdot K_3 \cdot S_{ном.Т})^2 - P_{cp.max}^2} = \\ &= \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 597,38^2} = 648,9 \text{ кВар} \end{aligned} \quad (16)$$

где $Q_{max.T}$ - наибольшая реактивная мощность, передаваемая через все трансформаторы в сеть, квар.

Суммарная мощность конденсаторных батарей на напряжение до 1кВ определяем по выражению:

$$Q_{нк1} = Q_{cp.max} - Q_{max.T} = 724,27 - 648,9 = 75,37 \text{ квар}, \quad (17)$$

где $Q_{cp.max}$ - средняя реактивная мощность за наиболее загруженную смену при напряжении до 1 кВ, квар.

Дополнительная реактивная мощность для данной группы трансформаторов рассчитывается по формуле:

$$Q_{HK2} = Q_{cp.max} - Q_{HK1} - \gamma \cdot N_{opt} \cdot S_{ном.Т} =$$

$$= 724,27 - 75,37 - 0,42 \cdot 2 \cdot 630 = 119,7 \text{кВар} \quad (18)$$

где γ – расчетный коэффициент, зависящий от параметров K_{P1} и K_{P2} .

Найдем суммарную расчетную мощность по формуле:

$$Q_{HK} = Q_{HK1} + Q_{HK2} = 75,37 + 119,7 = 195,1 \text{квар}, \quad (19)$$

К установке принимаем две конденсаторные установки марки КРМ-0,4-100-20 УЗ производства «ПромЭлектроАвтоматика» [9].

Произведем проверку по коэффициенту загрузки трансформатора по формулам:

$$S_{cp.m} = \sqrt{P_{cp.max}^2 + (Q_{cp.max} - Q_{HK})^2} S =$$

$$= \sqrt{597,379^2 + (724,27 - 200)^2} = 632 \text{кВА} \quad (20)$$

$$K_3 = \frac{S_{cp.max}}{N_{opt} \cdot S_{ном.Т}} = \frac{632}{2 \cdot 630} = 0,5, \quad (21)$$

где $S_{cp.m}$ - средняя полная мощность за наиболее загруженную смену с учетом установленных конденсаторных батарей, кВА.

Окончательно к установке принимается комплектная трансформаторная подстанция 2КТП-СЭЩ-П-630/10/0,4-03-УЗ с двумя конденсаторными установками КРМ-0,4-100-20-10.

Расположение КТП выбирается исходя из координат центра электрических нагрузок, найдем по выражениям (22), (23):

За начало координат принимается нижний левый угол цеха по плану, пересечение осей А-Б и 1-2.

$$x_0 = \frac{\sum P_i \cdot x_i}{\sum P_i} = \frac{78314,74}{2785,4} = 28,1\text{ м}; \quad (22)$$

$$y_0 = \frac{\sum P_i \cdot y_i}{\sum P_i} = \frac{65636,37}{2785,4} = 23,6\text{ м}, \quad (23)$$

где P_i – номинальная активная мощность i -того электроприемника, кВт;

x_i, y_i – координаты i -того электроприемника, м.

Расположить трансформаторную подстанцию в расчетном центре электрических нагрузок не удалось, так как там находится технологическое оборудование. Поэтому располагаем ее в месте наиболее приближенном к центру нагрузок.

Это точка с координатами:

$$x_0 = 40 \text{ м};$$

Ось (7-8)

$$y_0 = 26 \text{ м};$$

Ось (Б-В)

2.3 Светотехнический расчет цеха

Согласно исходным данным и рекомендациям СНиП [1], минимальная освещённость общего освещения в системе комбинированного освещения цеха равна 200 лк [1, стр.3, табл.1].

$K_3=1,5$ [1, стр.7, табл.3] – коэффициент запаса для механосборочных, технических цехов при содержании пыли менее 1мг/м³, светильников 4 группы.

Согласно [1] допускается применение светодиодных источников света, поэтому принимается светодиодный светильник с кривой силы света Г, Ардатовского светотехнического завода, ДСП04.

Выбираются габариты и установочные размеры помещения и светильников (рисунок 2).

Расчетная высота будет равна:

$$h = H - h_c - h_p = 8 - 0,5 - 0,8 = 6,7 \text{ м} \quad (24)$$

где $H = 8 \text{ м}$ - высота до затяжки ферм

$h_c = 0,5 \text{ м}$ - высота свеса светильника

$h_p = 0,8 \text{ м}$ - высота рабочей поверхности

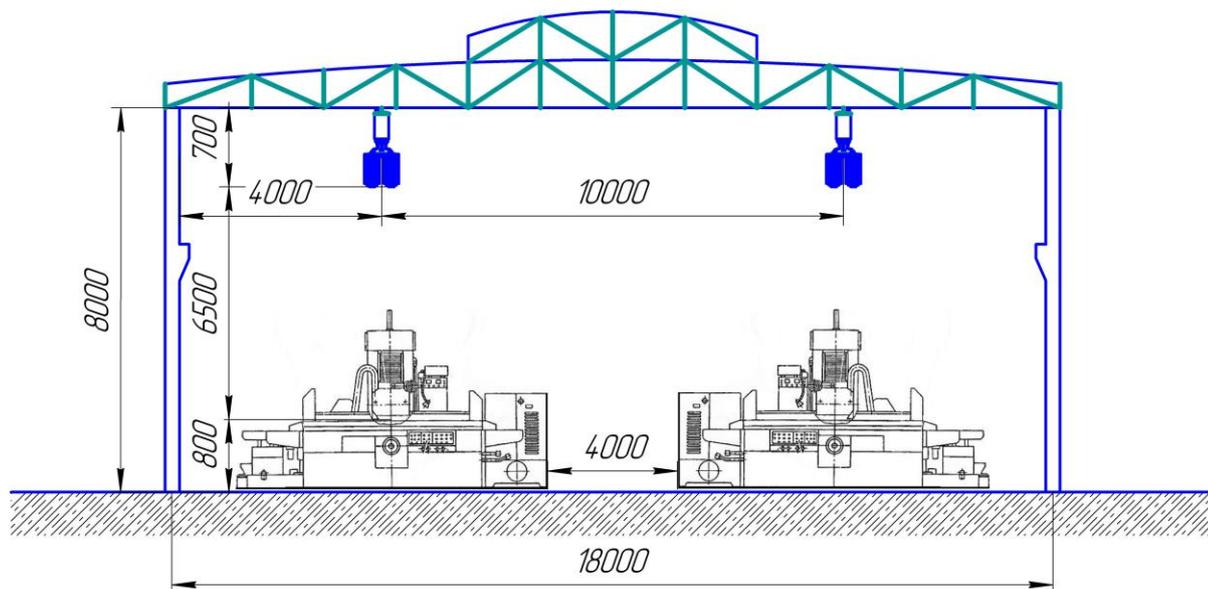


Рисунок 1 – Схема расположения светильников по высоте

Предварительно определяется расстояние между светильниками и рядами светильников:

$$L = h_{расч} \cdot \lambda = 6,5 \cdot 0,9 = 5,8 \approx 6 \text{ м}, \quad (25)$$

где $\lambda = 0,9$ [30, стр.12, табл.5].

Расстояние от стен до рядов светильников принимается равным $l=4$ м.

Светильники размещаются исходя из полученных размеров. Светильники, приходящиеся на проходы и не рабочие зоны, убираются.

Общее количество светильников в производственной зоне: $N=75$ шт.

Для расчета требуемого светового потока необходимо определить следующие параметры:

Определяется индекс помещения:

$$i_n = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)} = \frac{48 \cdot 72}{6,5 \cdot (48 + 72)} = 4,43, \quad (26)$$

где $A=48$ м – ширина цеха,

$B=72$ м – длина цеха,

Коэффициенты отражения из [23]: $\rho_n=0,5$; $\rho_c=0,3$; $\rho_p=0,2$.

Определяется необходимый световой поток находится по формуле:

$E_n=200$ лк – заданная минимальная освещенность,

$S=3456$ м² – площадь помещения,

$Z=1,15$ [22, стр.138] – коэффициент неоднородности,

$n=75$ – количество источников света,

$U_{oy}=1,02$ [27, стр.294] – коэффициент использования.

$$\Phi_{л} = \frac{E_n \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{n \cdot U_{oy}} = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 3456 \cdot 1,15}{75 \cdot 1,02} = 15586 \text{ лм}, \quad (27)$$

Под этот световой поток подходит светодиодный светильник ДСП04-200 Star [29].

Проверяется подходит ли лампа под условия изложенные в [29, стр.16]:

$$0,9\Phi \leq \Phi_{л} \leq 1,2\Phi \quad (28)$$

$$15430 \leq 19425 \leq 23310$$

Световой поток подходит.

Проверка горизонтальной освещенности

Метод горизонтальной освещенности, позволяет определить освещенность в точке от группы светильников.

Выбираются точки для проверки горизонтальной освещенности.

Определяется горизонтальная освещенность в точке А:

Производится подробный расчет для светильников 3 и 6.

Для расчета требуется угол от каждого светильника. Угол определяется из тангенса, определяемого из выражения:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d}{h_{\text{расч}}} = \frac{9,2}{6,5} = 1,42 \Rightarrow \alpha = 55^{\circ} \quad (29)$$

Сила света I_a определяется по кривой силы света, приведенной на рисунке 2, для данного светильника [2, стр.323].

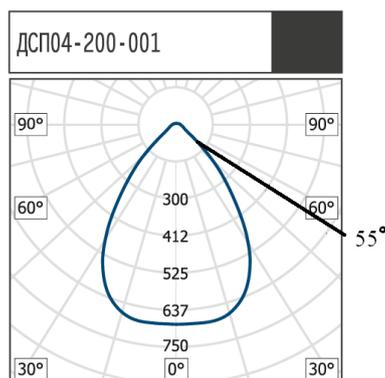


Рисунок 2 – Кривая силы света для светильника ДСП04-200

$I_a=190$ кд.

Для проверки освещенности определяется фактическая сила света по формуле:

$$I_{\text{факт}} = I_a \cdot \frac{\Phi_{\text{л}}}{1000} = 190 \cdot \frac{19425}{1000} = 3690,75 \text{кд}, \quad (30)$$

где $I_{\text{факт}}=3690,75$ кд – фактическая сила света

$\Phi_{\text{л}}=19425$ лм – световой поток источника света.

Определяется горизонтальная освещенность в точке А от светильников 3 и 6:

$$E_{\Gamma} = \frac{I_{\text{факт}} \cdot \cos^3 \alpha}{h_{\text{расч}}^2 \cdot K_3} \cdot \eta = \frac{3690,75 \cdot \cos^3 55}{6,5^2 \cdot 1,5} \cdot 0,85 = 9,51 \text{ лл} \quad (31)$$

Расчет освещенности от других светильников выполняется аналогично. Расчеты сводятся в таблицу 2:

Таблица 2 – Результаты расчетов в точке А

Проверка горизонтальной освещенности в точке А						
№ светильников	d, м	α, град	cosα	I _а , кД	I _{факт} , кД	E, лк
3, 6	9,2	55	0,58	190	3690,75	9,51
4, 5	3,7	30	0,87	520	10101	89,27
16, 17	12,8	63	0,45	100	1942,5	2,42
$\sum E$						202

Определяется суммарная освещенность от всех светильников в точке А:

$$\sum E_A = 2 \cdot 9,51 + 2 \cdot 89,27 + 2 \cdot 2,42 = 202 \text{ лк} \quad (32)$$

Производится расчет в точках В и С аналогично расчетам точки А. Результаты расчетов сводятся в таблицы 3 и 4.

Таблица 3 – Результаты расчетов в точке В

Проверка горизонтальной освещенности в точке В						
№ светильников	d, м	α, град	cosα	I _а , кД	I _{факт} , кД	E, лк
15, 16	11	60	0,51	100	1942,5	3,43
26, 29	9,5	56	0,56	190	3690,75	8,91
27, 28	4,2	33	0,84	520	10101	80,55
38, 41	11,5	61	0,49	110	2136,75	3,41
39, 40	7,9	51	0,63	160	3108	10,7
$\sum E$						214

Таблица 4 – Результаты расчетов в точке С

Проверка горизонтальной освещенности в точке С						
№ светильников	d, м	α , град	$\cos\alpha$	I_a , кД	$I_{\text{факт}}$, кД	E, лк
36	7,7	50	0,64	160	3108	11,2
47	8	51	0,63	160	3108	10,46
48	3,1	26	0,9	580	11266,5	111,61
49	4,2	33	0,84	510	9906,75	79
61	9,3	55	0,57	190	3690,75	9,31
62	9,8	57	0,55	180	3496,5	7,92
$\sum E$						230

Окончательно принимается светодиодный светильник ДСП04-200-001 [2] со световым потоком 19425лм.

Проверяется неоднородность освещения. Согласно [9, стр.15] равномерность распределения освещенности не должна превышать 0,7.

$$\frac{\sum E_{\min}}{\sum E_{\max}} = \frac{202}{230} = 0,88, \quad (33)$$

где $E_{\min}=202\text{лк}$ – минимальная освещенность в точке А;

$E_{\max}=230\text{лк}$ – максимальная освещенность в точке С.

Условие выполняется.

Расчет вспомогательных помещений

Производится расчет по методу удельной мощности.

Требуемая освещенность принимается по [1]: для складов принимается 150лк, для кабинетов и офисов 300лк.

Принимаются светильники:

– для склада: ЛПО46-2х36-514 с люминесцентными лампами [2].

– для кабинетов: ЛПО04-2х14-041с люминесцентными лампами[2].

Результаты расчетов сводятся в таблицу 5:

Таблица 5 – Результаты расчетов освещенности вспомогательных помещений

Наименование помещения	Удельная мощность, Вт/м ²	Требуемая освещенность, лк	Количество светильников, шт.	Тип светильника
Склад инструмента	6	150	3	ЛПО46-2х36
Начальник цеха	11	300	6	ЛПО04-2х14
Комната мастеров	11	300	6	ЛПО04-2х14
ОТК	11	300	6	ЛПО04-2х14

Расчет аварийного освещения

Для путей эвакуации шириной до 2м, горизонтальная освещенность на полу вдоль центральной линии прохода должна быть не менее 1лк [1, стр.36].

При расчете для 1лк получается число светильников требуемое для одного прохода равно 1. Получается высокая неравномерность, чтобы выполнялось условие [1, стр.36], принимается освещенность E=5лк.

Коэффициенты отражения принимаются равными 0, так как пространство вдоль прохода выступает в качестве светопоглощающей среды.

Для аварийного освещения принимается светодиодный светильник ДПП03-9-001 [2, стр.124].

Рассчитывается количество светильников в проходе методом коэффициента использования:

Необходимое количество светильников определяется по выражению выведенному из формулы (27):

$$N = \frac{E \cdot K_3 \cdot Z \cdot S}{U_{oy} \cdot \Phi_l} = \frac{5 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 136}{0,27 \cdot 534} = 7 \text{ шт.}$$

Для всех проходов принимается количество светильников равно 7. Светильники распределяются равномерно по всей длине прохода.

Питание осветительных установок выполняется трехфазной четырехпроводной сетью. Питание осветительной сети осуществляется от магистрального шинпровода через РП и щитки освещения ЩО1 и ЩО2.

Сети выполняются с помощью проводов АПВ. Рабочее освещение прокладывается под потолком с помощью тросов, вспомогательные помещения в коробах.

Схема электроснабжения осветительной установки, представленной на рисунке 3:

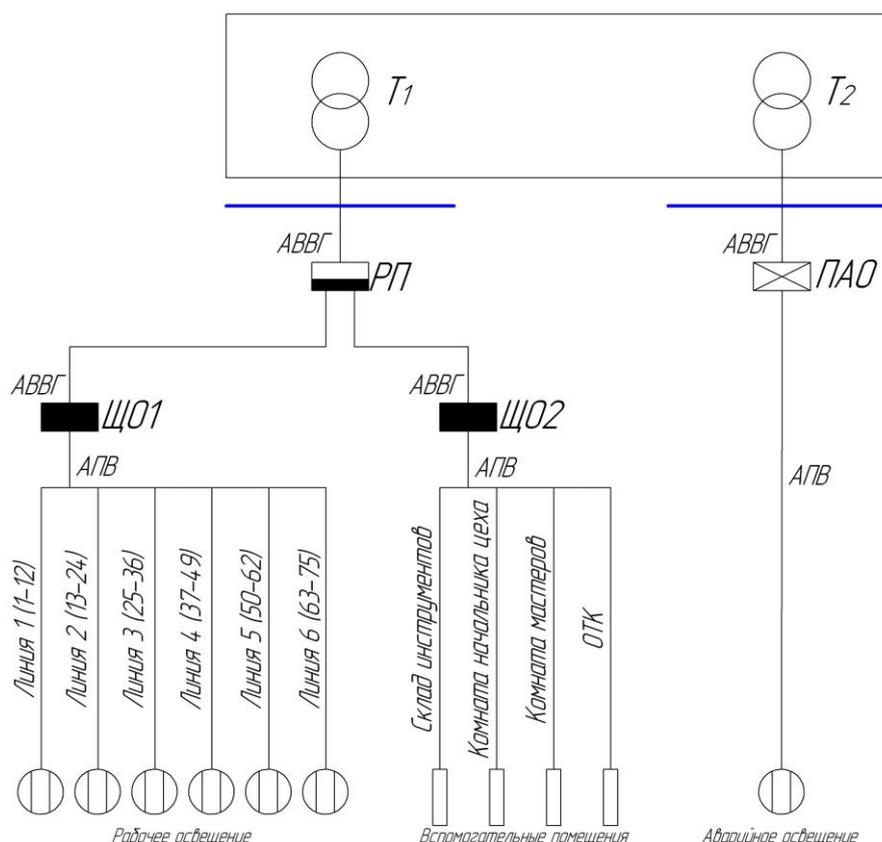


Рисунок 3 – Схема электроснабжения осветительной установки

Производится расчет производственной зоны ЩО1:

Рассчитывается мощность каждой отдельной линии:

$$P_{Л1} = P_{Л2} = P_{Л3} = P_{Л} \cdot N = 200 \cdot 12 \cdot 1,1 = 2640 \text{ Вт} , \quad (35)$$

$$P_{Л4} = P_{Л5} = P_{Л6} = 200 \cdot 13 \cdot 1,1 = 2860 \text{ Вт}$$

где $P_{Л1}=P_{Л2}=P_{Л3}=2640\text{Вт}$ - мощность линий 1, 2 и 3

$P_{л}=200\text{Вт}$ – мощность лампы

$N=12$ – количество светильников в линии

Определяется рабочий ток каждой линии:

$$P_{рЛ1} = P_{рЛ2} = P_{рЛ3} = \frac{P_p \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot \cos\varphi} = \frac{2640}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,98} = 4,1 \text{ А}, \quad (36)$$

$$P_{рЛ4} = P_{рЛ5} = P_{рЛ6} = \frac{P_p \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot \cos\varphi} = \frac{2860}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,98} = 4,4 \text{ А}$$

где $U_{л} = 380\text{В}$ – линейное напряжение;

$\cos\varphi = 0,98$ – коэффициент мощности нагрузки.

Для всех линий выключатель принимается: иек ВА47-29 3р 6А [5],

Проверяются условия [18]:

$$\frac{I_n}{I_p} \geq 1,4 \quad (37)$$

$$\frac{6}{4,4} = 1,4 \geq 1,4$$

Принимается провод АПВ (4х2,5) $I_n=23\text{А}$ [18]

$$I_n > I_p \quad (38)$$

$$23 \geq 4,4 \text{ А}$$

Условия выполняются.

Определяется суммарный рабочий ток линий, для выбора вводного автомата по формуле (36):

$$P_{\text{ЩО1}} = \frac{16500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,98} = 25,5 \text{ A}$$

Принимается вводной автомат: iek ВА47-60 3р 40А [13].

Проверяются условия [17]:

$$40 / 25,5 = 1,6 \geq 1,4$$

Принимается кабель АВВГ (4х4) I_н=32А[17]

$$32 \geq 25,5 \text{ A}$$

Условия выполняются.

Устанавливается щиток освещения типа ЩО03-1-1А(50), с автоматом на входе - iek ВА47-60 3р 40А с номинальным током 40А, с автоматами на выходе - iek ВА47-29 3р 6А с номинальным током 6А.

Для освещения вспомогательных помещений принимается однофазная двухпроводная сеть с одним щитком и четырьмя отходящими линиями.

Питание ЩО2 принимается трехфазным. Для того чтобы не допустить перекос фаз, помещения распределяются равномерно между фазами.

Расчет вспомогательных помещений, расчет РП и аварийного освещения производится аналогичным образом. Результаты расчетов сводятся в таблицу Приложение В.

2.4 Выбор элементов распределительной сети

Произведем выбор кабелей, проводов, ШРА, ШМА и автоматов до самого близкого электроприемника №29 (Станок с ЧПУ).

Для выбора требуется длительно допустимый ток, определяемый по формуле:

$$I_{\text{дл}} = \frac{P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} V_H \cos \varphi \eta} = \frac{9,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,5} = 28,9 \text{ A} \quad (39)$$

где $P_n = 9,5$ Вт - номинальная мощность электроприемника;

$U_n = 380$ В - номинальное напряжение сети.

Аппарат защиты типа ВА выбирается из условий:

$$I_{н.р.} = 1,25I_{ол} = 1,25 \cdot 28,9 = 36,1 \text{ А} \quad (40)$$

$$I_{н.а.} \geq I_{н.р} \quad (41)$$

Принимается выключатель ВА 51-31, со следующими характеристиками:

$U_{н.а.} = 380$ В - номинальное напряжение автомата, В;

$I_{н.а.} = 100$ А - номинальный ток автомата, А;

$I_{н.р.} = 40$ А - номинальный ток расцепителя, А;

$I_{отк.} = 5$ кА - ток отключения, А.

Определяются следующие параметры автомата:

Ударный пусковой ток находится по формуле:

$$I_{y(n)} = 1,35 \cdot I_{н.р.} = 1,35 \cdot 40 = 54 \text{ А} \quad (42)$$

Ударный ток короткого замыкания определяется по выражению:

$$I_{y(кз)} = 10 \cdot I_{н.р.} = 10 \cdot 40 = 400 \text{ А} \quad (43)$$

Пусковой ток и ток отсечки рассчитывается по формулам:

$$I_{II} = K_{II} \cdot I_{ол} = 7 \cdot 28,9 = 202,3 \text{ А} \quad (44)$$

$$I_0 \geq 1,2 \cdot I_{II} \geq 1,2 \cdot 202,3 = 242,76 \text{ А} \quad (45)$$

где $K_{II} = 6,5 \dots 7,5$ – для АД - кратность пускового тока.

Определяется кратность отсечки по выражению:

$$K_0 \geq \frac{I_0}{I_{н.р}} \geq \frac{242,76}{40} = 6,07 \quad (46)$$

Окончательно принимается $K_0 = 7$.

ШМА, ШРА и сечения проводов цеховой сети выбирают по выражению:

$$I_{ном} \geq K_n I_{дон} \quad (47)$$

где $K_n=1$ – поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей.

Определяем данные и выбираем проводник типа АПВ с учетом соответствия защитной аппаратурой по формуле:

$$I_{дон} \geq K_{защ} \cdot I_{y(II)} \geq 1 \cdot 54 = 54 \text{ А} \quad (48)$$

где $K_{защ} = 1$ для нормальных помещений - коэффициент защиты.

По таблице 1.3.5. [17] выбирается АПВ-1-4×16, $I_{дон} = 60 \text{ А}$.

Шинопроводы выбираются аналогичным образом. Выбранные сечения и тип шин сведем в таблицу 6.

Таблица 6 – Выбранные сечения и типы шинопроводов

Наименование	$I_p, \text{ А}$	Тип	$I_{ном}$ шинопровода, А
ШРА1	290,23	ШРА 5	400
ШРА2	98,33	ШРА 5	100
ШРА3	491,84	ШРА 5	630
ШРА4	153,62	ШРА 5	250
ШРА5	324,1	ШРА 5	400
ШРА6	246,98	ШРА 5	250
ШРА7	175,43	ШРА 5	250
ШРА8	130,66	ШРА 5	250
ШМА1	909,62	ШМА 5	1250
ШМА2	776,27	ШМА 5	1250

Выбор остальных проводников и аппаратов защиты к электроприемникам, производится аналогично, результаты представлены в Приложение Г.

2.5 Расчет токов КЗ в сети низкого напряжения

Большой протяженностью и наличием большого количества коммутационно-защитной аппаратуры характеризуются сети промышленных предприятий напряжением до 1 кВ. При напряжении до 1 кВ даже небольшое сопротивление оказывает существенное влияние на ток КЗ [25].

Схема сети представлена на рисунке 4

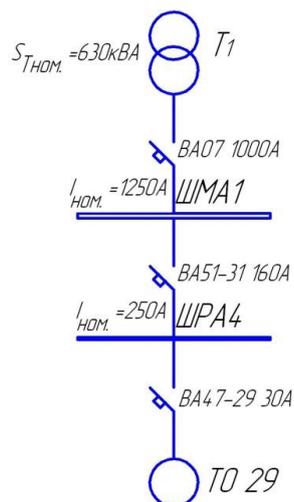


Рисунок 4 – Схема сети

Схема замещения для расчета короткого замыкания представлена на рисунке 5

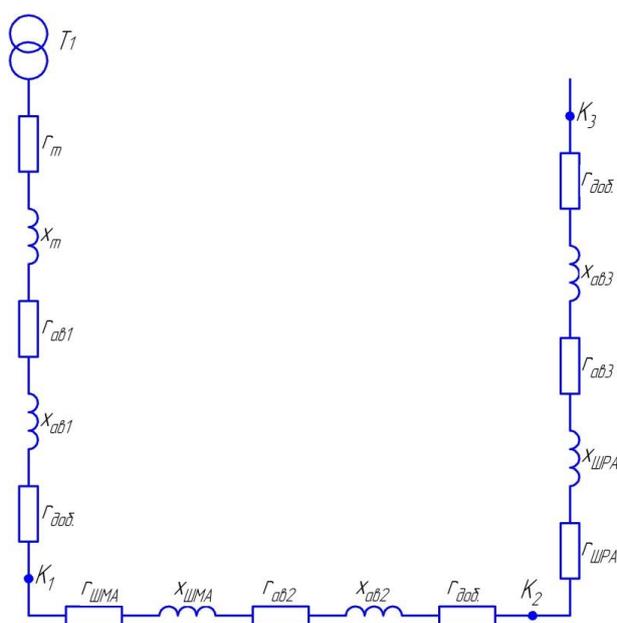


Рисунок 5 - Схема замещения для расчетов токов КЗ

Определяем параметры схемы замещения для трехфазного и двухфазного КЗ:

$$R_i = r_0 \cdot L_i \quad (49)$$

где r_0 - удельное активное сопротивление, мОм;

L_i - длина проводника, м.

$$X_i = x_0 \cdot L_i \quad (50)$$

где x_0 - удельное индуктивное сопротивление, мОм.

Добавочные сопротивления:

$$R_{\text{доб.1}} = 15 \text{ МОм}; R_{\text{доб.2}} = 20 \text{ МОм}; R_{\text{доб.3}} = 25 \text{ МОм}.$$

Вычисляем эквивалентные сопротивления до каждой точки КЗ:

Определяем трехфазное КЗ в каждой расчетной точке по формуле:

$$I_{Ki} = \frac{U_{Ki}}{\sqrt{3} \cdot Z_{Ki}} \quad (51)$$

где U_{Ki} - номинальное напряжение, В;

Z_{Ki} - полное сопротивление i -ой точки, Ом.

По полученным токам КЗ можно заметить, что выбранные ранее ВА подходят для защиты данной линии.

Далее рассчитываем двухфазное КЗ в каждой расчетной точке:

$$I_{Ki}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{Ki}^{(3)} \quad (52)$$

где $I_{Ki}^{(3)}$ - трехфазный ток КЗ в i -ой точке, кА.

Производим расчет ударных токов для каждой точки по формуле:

$$i_{\text{уд.п}} = \sqrt{2} \cdot I_{Ki}^{(3)} \cdot K_{\text{уд}} \quad (53)$$

где $K_{\text{уд}}$ - ударный коэффициент.

Результаты расчетов сводим в таблицу 7.

Таблица 7 – Данные расчета трех и двухфазного КЗ

Точка КЗ	R_K , МОм	X_K , МОм	Z_K , МОм	$\frac{R_K}{X_K}$	K_y	q	$I_{Ki}^{(3)}$, кА	i_y , кА	$I_y^{(3)}$, кА	$I_{Ki}^{(2)}$, кА
К1	18,2	13,7	22,8	1,3	1	1	10,1	14,2	10,1	8,8
К2	38,9	14,3	43,5	2,7	1	1	5,3	7,5	5,3	4,6
К3	71,2	20,6	76,4	3,5	1	1	3	4,2	3	2,6

Рассчитываем однофазное КЗ



Рисунок 6-Схема для расчетов тока однофазного КЗ

Определяем параметры схемы замещения для расчета однофазного КЗ

$$R_i = 2 \cdot r_0 \cdot L_i \quad (54)$$

$$X_i = 2 \cdot x_0 \cdot L_i \quad (55)$$

Для трансформатора [27] $Z_T^{(1)} = 312$ МОм

Добавочное сопротивление: $R_{доб4} = 30$ МОм

Вычисляем полное сопротивление цепи по выражениям:

$$R_n = R_T + R_{ШМА} + R_{ШРА} + R_{np} + R_{доб4} \quad (56)$$

$$R_n = 3,1 + 1 + 8,61 + 4,46,8 + 15 = 74,51 \text{ МОм}$$

$$X_n = X_T + X_{ШМА} + X_{ШРА} + X_{np} \quad (57)$$

$$X_n = 13,6 + 0,47 + 8,61 + 0,64 = 23,32 \text{ МОм}$$

$$Z_n = \sqrt{R_n^2 + X_n^2} = \sqrt{74,51^2 + 23,32^2} = 78,1 \text{ МОм} \quad (58)$$

Находим ток однофазного КЗ по выражению (59)

$$I_n^{(1)} = \frac{U_{кф}}{Z_n + \frac{Z_m^{(1)}}{3}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{78,1 + \frac{129}{3}} = 1,8 \text{ кА} \quad (59)$$

Вывод по разделу 2

Определили потребление мощности каждым отдельным потребителем. В качестве исходной информации использовались данные из «Приложения А». На основании этих данных определены активная, реактивная и полная мощности для потребителей. Далее производился выбор числа, мощности и места расположения трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.

Произведен светотехнический расчет. Применение светодиодных источников света, поэтому принимается светодиодный светильник с кривой силы света Г, Ардатовского светотехнического завода. Принимаются светильники:

- для склада: ЛПО46-2x36-514 с люминесцентными лампами,
- для кабинетов: ЛПО04-2x14-041 с люминесцентными лампами.

3 Расчет распределительной сети проектируемого завода

3.1 Расчет электрических нагрузок завода

Расчет нагрузок промышленного потребителя производится методом коэффициента спроса, изложенным в [25].

Для применения этого метода для расчетных нагрузок необходимо знать установленную мощность $P_{\text{ном}}$ группы всех электроприемников и коэффициенты мощности $\cos\varphi$ и спроса K_c данной группы, определяемые по справочным материалам.

Производится подробный расчет инструментального цеха:

Определяется расчетная активная мощность для группы станков цеха:

$$P_p = K_c \cdot P_{\text{ном}} = 660 \cdot 0,16 = 105,6 \text{ кВт} \quad (60)$$

где $P_{\text{ном}} = 660$ кВт - установленная мощность группы электроприемников;
 $K_c = 0,16$ - коэффициент спроса из [30].

Расчетная реактивная мощность для группы станков определяется по формуле:

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi = 105,6 \cdot 1,33 = 140,45 \text{ квар} \quad (61)$$

Находится сумма расчетных активных и реактивных нагрузок:

$$\begin{aligned} \sum P_p &= 105,6 + 2,2 + 16,2 + 60 + 132 + 10 = 326 \text{ кВт} \\ \sum Q_p &= 140,45 + 3,8 + 18,95 + 45 + 63,36 + 3 = 274,57 \text{ квар} \end{aligned}$$

Расчетная нагрузка цеха определяется по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{326^2 + 274,57^2} = 426,22 \text{ кВА} \quad (62)$$

Расчет остальных цехов производится аналогичном образом, результаты расчетов сводятся в таблицу Приложение Д.

3.2 Определение мощности трансформаторов подстанций

«Расчет производится по методике, изложенной в пункте 2.3. Выбор мощности трансформаторов производится исходя из рациональной их загрузки в нормальном режиме и с учетом минимально необходимого резервирования в послеаварийном режиме» [25]. Результаты расчета сводятся в таблицу 8. Результаты расчетов компенсирующих устройств сведены в таблицу 9.

Таблица 8 – Результаты расчетов числа и мощности трансформаторов

Цех	Требуемы й Кз	Расчетная мощность S_p , кВА	Мощность трансформатора, кВА	Кз
1. Инструментальный	0,9	426,22	2x250	0,85
2. Ремонтный	0,7	716,838	2x400	0,69
3. Опытный	0,7	671,125	2x400	0,7
4. Модельный	0,7	394,284	2x250	0,66
5. Литейно-кузнечный	0,5	2467,26	4x1000	0,5
6. Обработки корпусных деталей	0,7	938,881	2x630	0,5
7. Штамповочный	0,7	1179,57	2x630	0,68
8. Компрессорный	0,5	1591,42	2x400	0,5
9. Строительный	0,9	479,837	2x250	0,89
10. Сварочный	0,7	1200	2x630	0,67
11. Покрасочный	0,7	805,665	2x400	0,7
13. Сборочный	0,7	1065,34	2x630	0,57

Таблица 9 – Выбранные компенсирующие устройства

Цех	Q_p , квар	$Q_{нк}$, квар	Компенсирующее устройство	Мощность компенси- рующей установки
1. Инструментальный	274,57	147,2	2xКРМ-0,4-75-5 У3	150
2. Ремонтный	463,06	317	2xКРМ-0,4-160-10 У3	320
3. Опытный	408,87	234,6	2xКРМ-0,4-125-5 У3	250
4. Модельный	300,13	93,13	2xКРМ-0,4-50-2,5 У3	100
5. Литейно- кузнечный	1446,8	47	4xКРМ-0,4-25-2,5 У3	100

Продолжение таблицы 9

6. Обработки корпусных деталей	724,3	195,1	2xKPM-0,4-100-5 У3	200
7. Штамповочный	898,7	458,6	2xKPM-0,4-250-25 У3	500
8. Компрессорный	456,4	-	-	-
9. Строительный	369,94	199,3	2xKPM-0,4-100-5 У3	200
10. Сварочный	897,63	518,6	2xKPM-0,4-300-25 У3	600
11. Покрасочный	587,13	491	2xKPM-0,4-250-25 У3	500
13. Сборочный	869,33	736,3	2xKPM-0,4-450-25 У3	900
Скомпенсировано всего Q_{Σ} , кВар				3820

3.3 Расчет главной понизительной подстанции

Для питания предприятия на ГПП выбирается схема ЗН [24] — «блок (линия — трансформатор) с выключателем» (Рисунок 7) применяется на напряжении 35–220 кВ для тупиковых или ответвительных ПС.

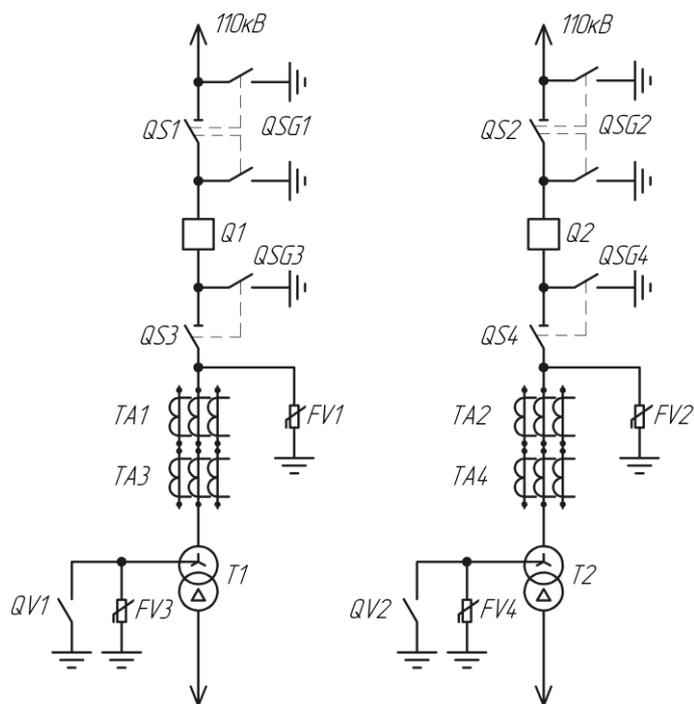


Рисунок 7 – Схема ЗН

Рассчитаем мощность трансформатора ГПП по формуле [3]:

$$S_{\text{номтт}} = \frac{k_{1-2} \cdot S_p}{K_{\text{пер}}} \quad (63)$$

где S_p - расчетная полная мощность, МВА.

$K_{пер}$ - коэффициент перегрузки

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (64)$$

где P_p - расчетная активная мощность, МВт,

Q_p - расчетная реактивная мощность, Мвар.

$$S_{номтт} = \frac{(0,13 + 0,47) \cdot 16086}{1,4} = 6894 \text{ кВА}$$

Принимаем трансформатор мощностью 10МВА.

Произведем расчет и выбор компенсирующего устройства по формуле:

$$Q_{KV} = Q_p - Q_{\text{о1}} - Q_{\text{ц}} \quad (65)$$

где $Q_{\text{о1}}$ - оптимальная реактивная мощность, Мвар.

$Q_{\text{ц}} = 3,82$ Мвар - мощность установок компенсации реактивной мощности в цехах из таблицы 3.2.

$$Q_{\text{о1}} = \text{tg} \varphi \cdot P_p \quad (66)$$

где $\text{tg} \varphi$ - коэффициент мощности.

$$Q_{\text{о1}} = 0,4 \cdot 12914 = 5,17 \text{ Мвар}$$

$$Q_{KV} = 7,64 - 5,17 - 3,82 = -1,35 \Rightarrow Q_{KV} = 0 \text{ Мвар}$$

Компенсация реактивной мощности не требуется.

Определим расчетную мощность по формуле:

$$S_{расч.т} = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{кУ})^2} \quad (67)$$

$$S_{расч.т} = \sqrt{12,91^2 + 7,64^2} = 16,1 \text{ МВА}$$

Определим коэффициент загрузки трансформатора с учетом потребителей и не ответственных цехов III категории:

$$k_3 = \frac{S_{расч.т}}{2 \cdot S_{ном.т}} \quad (68)$$

$$k_3 = \frac{16,1}{2 \cdot 10} = 0,8$$

Что удовлетворяет условиям [21].

К установке принимаем трансформатор ТДН-10000/110-У1 завода «Тольяттинский трансформатор» [12].

Для определения местоположения рассматриваемого ГПП рассчитываем центр электрических нагрузок. Его координаты можно определить по приведенным формулам:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n S_{Pi} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n S_{Pi}}; \quad (69)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n S_{Pi} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n S_{Pi}}, \quad (70)$$

Введем начало координат (чертеж «План прокладки кабельных трасс»). Координаты и расчетная мощность цехов проектируемого предприятия представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Координаты электрических нагрузок ГПП

Номер цеха	S,кВА	x,мм	y,мм	Номер цеха	S,кВА	x,мм	y,мм
1. Инструментальный	426,22	115	343	7. Штамповочный	1179,57	248	338
2. Ремонтный	716,838	116	176	8. Компрессорный	1591,42	223	269
3. Опытный	671,125	228	454	9. Строительный	479,837	442	249
4. Модельный	394,284	443	456	10. Сварочный	1200	220	170
5. Литейно-кузнечный	2467,26	515	454	11. Покрасочный	805,665	442	260
6. Обработки корпусных деталей	938,881	193	361	13. Сборочный	1065,34	351	63

В результате расчётов центра электрических нагрузок были получены координаты: $x=340\text{мм}$, $y=300\text{мм}$ (чертеж «план прокладки кабельных трасс»).

Расположение цехов предприятия позволяет разместить подстанцию в центре электрических нагрузок. Для питания завода применяется подстанция глубокого ввода, расположенная в центре электрических нагрузок. Такое расположение позволяет значительно сократить протяженность электрических сетей напряжением 10 кВ, а следовательно, уменьшить потери мощности и электроэнергии в этих сетях, повысить надежность электроснабжения, а также сократить капитальные затраты и эксплуатационные издержки на систему электроснабжения.

Расчет токов короткого замыкания и ударных токов необходим для выбора оборудования распределительного устройства.

Выбраны точки КЗ, в которых токи максимальны для каждого из выключателей.

Составляется расчетная схема, представленная на рисунке 8 приведенном ниже.

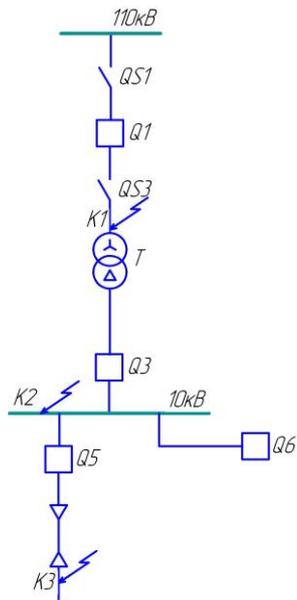


Рисунок 8 – Расчетная схема

Составим схему замещения, по которой будем делаться дальнейший расчет токов КЗ, схема представлена на рисунке 9.

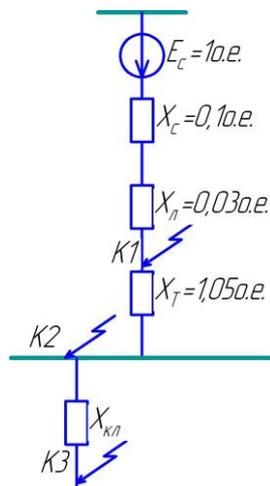


Рисунок 9 – Схема замещения

Определим базисный ток по формуле:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}} \quad (71)$$

$$I_{\sigma} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,5 \text{ кА}$$

$$I_{\sigma} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}$$

где $S_{\sigma} = 100$ МВА - базисная мощность;

$U_{\sigma 1} = 115$ кВ - базисное напряжение высокой стороны;

$U_{\sigma 2} = 10,5$ кВ - базисное напряжение низкой стороны.

Определяем относительное сопротивление энергосистемы по формуле:

$$x_c = \frac{S_{\sigma}}{S_{КЗ}} = \frac{100}{1000} = 0,1 \text{ о.е.} \quad (72)$$

где $S_{КЗ}$ - мощность КЗ системы, МВА.

Определяем сопротивление воздушной и кабельной линии по формуле:

$$x_l = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = \frac{0,4 \cdot 10 \cdot 100}{115^2} = 0,03 \text{ о.е.} \quad (73)$$

где x_0 - погонное сопротивление линии, Ом/км;

l - длина линии, км.

Определяем сопротивление трансформатора по формуле:

$$x_T = \frac{U_{КЗ} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{ном}} = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 10} = 1,05 \text{ о.е.} \quad (74)$$

где $U_{КЗ}$ - напряжение КЗ трансформатора, %;

$S_{ном}$ - номинальная мощность трансформатора, МВА.

Определяем сопротивление кабельной линии до ближайшего потребителя по (73):

$$x_{кл} = \frac{0,08 \cdot 0,112 \cdot 100}{10,5^2} = 0,0086 \text{ о.е.}$$

Определяем сопротивление в расчетных точках КЗ

$$x_{K1} = x_c + x_{л} = 0,1 + 0,03 = 0,13 \text{ о.е.} \quad (75)$$

$$x_{K2} = x_{K1} + x_{т} = 0,13 + 1,05 = 1,18 \text{ о.е.} \quad (76)$$

$$x_{K3} = x_{K2} + x_{кли} = 1,18 + 0,0086 = 1,19 \text{ о.е.} \quad (77)$$

Определяем ток КЗ в рассматриваемых точках по формуле

$$I_K = \frac{I_{\sigma}}{x_K} \quad (78)$$

где I_{σ} - базисный ток ступени КЗ, кА;

x_K - сопротивление в точках.

$$I_{K1} = \frac{0,5}{0,13} = 3,85 \text{ кА}$$

$$I_{K2} = \frac{5,5}{1,18} = 4,66 \text{ кА}$$

$$I_{K3} = \frac{5,5}{1,19} = 4,6 \text{ кА}$$

Определяем ударный ток в точках КЗ по формуле:

$$i_{y\sigma} = \sqrt{2} \cdot k_{y\sigma} \cdot I_K \quad (79)$$

где $k_{y\sigma}$ - ударный коэффициент;

I_K - значение тока КЗ, кА.

$$i_{y\sigma1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,85 = 9,8 \text{ кА}$$

$$i_{y\sigma2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,66 = 11,9 \text{ кА}$$

$$i_{y\sigma2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,6 = 11,7 \text{ кА}$$

Произведем выбор аппаратуры на стороне высокого напряжения.

Выбор разъединителя:

Условия выбора разъединителя [18]:

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}} \quad (80)$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение аппарата, кВ;

$U_{\text{уст}}$ - рабочее напряжение установки, кВ.

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{раб.макс}} \quad (81)$$

где $I_{\text{ном}}$ - номинальный ток аппарата, А;

$I_{\text{раб.макс}}$ - максимальный рабочий ток установки, А.

$$i_{\text{пр.скв.}} \geq i_{\text{уд}} \quad (82)$$

где $i_{\text{пр.скв.}}$ - предельный сквозной ток короткого замыкания, кА;

$i_{\text{уд}}$ - ударный ток КЗ, кА.

$$I_{\text{мс}}^2 t_{\text{мс}} \geq B_K = I_K^2 \cdot t_{\text{откл}} \quad (83)$$

где $I_{\text{мс}}$ - максимальный ток термической стойкости, кА;

$t_{\text{мс}}$ - длительность протекания максимального тока термической стойкости, с;

B_K - тепловой импульс, кА²·с;

$t_{\text{откл}}$ - время отключения выключателя защиты, с.

Расчетные значения и параметры разъединителя сведем в таблицу 11.

Таблица 11 – Выбор разъединителя

Расчетные значения	РН-СЭЩ-110/1250 УХЛ1
$U_{уст} = 110$ кВ	$U_{ном} = 110$ кВ
$I_{раб.макс} = 73,5$ А	$I_{ном} = 1250$ А
$i_{уд} = 9,8$ кА	$i_{пр.скв.} = 80$ кА
$I_{mc}^2 t_{mc} = 11,86$ кА ² ·с	$B_K = I_K^2 \cdot t_{откл} = 2976,8$ кА ² ·с

По условиям (80-83) к установке принимаем разъединитель РН-СЭЩ-110/1250 УХЛ1 производства «Электроцит Самара» [10].

Выбор выключателя высокого напряжения:

$$I_{откл.ном} \geq I_K \quad (84)$$

где $I_{откл.ном}$ - номинальный ток отключения КЗ, кА;

I_K - ток КЗ, кА.

Расчетные значения и параметры выключателя сведем в таблицу 12.

Таблица 12 – Выбор выключателя на стороне ВН

Расчетные значения	ВБП-110Ш-31,5/2000 УХЛ1
$U_{уст} = 110$ кВ	$U_{ном} = 110$ кВ
$I_{раб.макс} = 73,5$ А	$I_{ном} = 2000$ А
$I_K = 3,85$ кА	$I_{откл.ном} = 31,5$ кА
$i_{уд} = 9,8$ кА	$i_{пр.скв.} = 80$ кА
$I_{mc}^2 t_{mc} = 11,86$ кА ² ·с	$B_K = I_K^2 \cdot t_{откл} = 2976,8$ кА ² ·с

По условиям (80-85) к установке принимаем выключатель ВБП-110Ш-31,5/2000 УХЛ1 производства завода «Контакт» [7].

Выбор ОПН на ОРУ 110 кВ производим по условию (75).

Таблица 13 – Выбор ОПН на ОРУ

Расчетные значения	ОПН-П-110/73/10/550 Ш УХЛ1
$U_{уст} = 110$ кВ	$U_{ном} = 110$ кВ

К установке принимаем ограничитель перенапряжения производства «Севзаппром» [11], ОПН-П-110/73/10/550 III УХЛ1.

Выбор ОПН в нейтрале трансформатора

$$U_{\text{НОМ}} \geq 0,5U_{\text{уст}} \quad (85)$$

Таблица 14 – Выбор ОПН в нейтрале трансформатора

Расчетные значения	ОПНН-П-110/56/10/550 III УХЛ1
$U_{\text{уст}} = 55 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} = 56 \text{ кВ}$

К установке принимаем ограничитель перенапряжения по условию (80), производства «Севзаппром», ОПНН-П-110/56/10/550 III УХЛ1.

Выбор заземлителей в нейтрале трансформатора производим по условию (85).

Таблица 15 – Выбор заземлителя

Расчетные значения	ЗОН-СЭЩ-110/II УХЛ1
$U_{\text{уст}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} = 110 \text{ кВ}$

К установке принимаем заземлитель ЗОН-СЭЩ-110/II УХЛ1 производства завода «Электроцит Самара».

Выберем аппаратуру на стороне низкого напряжения ГПП. К установке принимается комплектное распределительное устройство производства «Электроцит Самара» с ячейки КРУ-СЭЩ 70, так как они имеют больший ряд номинальных токов, всем необходимым дополнительным оборудованием собственного производства и обладают более компактными размерами относительно конкурентов.

Выбор выключателей производим по условиям (80-85).

Ячейки КРУ-СЭЩ 70 комплектуются вакуумными и элегазовыми выключателями. Рассмотрим каждый выключателей, характеристики сведем в таблицу 16.

Таблица 16 – Сравнительные характеристики выключателей

Параметры	Вакуумный	Элегазовый
Коммутации номинального тока к.з.	30-400	10-50
Коммутации номинального рабочего тока	до 30000	до 10000
Интервал между техобслуживанием, лет	10-20	5-10
Общее число составных частей коммутационной камеры	22	52
Число подвижных частей	9	24
Число подвижных частей дугогасящей камеры.	2	24
Эксплуатационная надежность коммутационной камеры, лет	24	2,5-8

Исходя из данных представленных в таблице следует что вакуумные выключатели обладают большим числом коммутаций, более не прихотливы в обслуживании, надежнее элегазовых за счет меньшего числа составных частей, более простой конструкции, и имеют больший срок службы. К дальнейшему выбору и установке рассматриваются вакуумные выключатели.

Вводной выключатель:

Расчетные значения и параметры выключателя сведены в таблицу 17.

Таблица 17 – Выбор вводного выключателя

Расчетные значения	ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} = 808,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_K = 4,66 \text{ кА}$	$I_{откл ном} = 20 \text{ кА}$
$i_{уд} = 11,9 \text{ кА}$	$i_{пр.скв.} = 51 \text{ кА}$
$I_{mc}^2 t_{mc} = 39,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = I_K^2 \cdot t_{откл} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Принимаем выключатель ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000 производства завода «Электроцит Самара» [10].

Выключатель на отходящие линии к РП компрессорной:

Таблица 18 – Выбор выключателя на отходящую линию

Расчетные значения	ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} = 234,4 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_K = 4,66 \text{ кА}$	$I_{откл ном} = 20 \text{ кА}$
$i_{уд} = 11,9 \text{ кА}$	$i_{пр.скв.} = 51 \text{ кА}$
$I_{mc}^2 t_{mc} = 39,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = I_K^2 \cdot t_{откл} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Выключатель на отходящие линии к КТП №12:

Таблица 19 – Выбор выключателя на отходящую линию

Расчетные значения	ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} = 154,4 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_K = 4,66 \text{ кА}$	$I_{откл ном} = 20 \text{ кА}$
$i_{уд} = 11,9 \text{ кА}$	$i_{пр.скв.} = 51 \text{ кА}$
$I_{mc}^2 t_{mc} = 39,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = I_K^2 \cdot t_{откл} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Выключатель на отходящие линии к КТП №7:

Таблица 20 – Выбор выключателя на отходящую линию

Расчетные значения	ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} = 134,2 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_K = 4,66 \text{ кА}$	$I_{откл ном} = 20 \text{ кА}$
$i_{уд} = 11,9 \text{ кА}$	$i_{пр.скв.} = 51 \text{ кА}$
$I_{mc}^2 t_{mc} = 39,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = I_K^2 \cdot t_{откл} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Выключатель на отходящие линии к КТП №4:

Таблица 21 – Выбор выключателя на отходящую линию

Расчетные значения	ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} = 161,7 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_K = 4,66 \text{ кА}$	$I_{откл ном} = 20 \text{ кА}$
$i_{уд} = 11,9 \text{ кА}$	$i_{пр.скв.} = 51 \text{ кА}$
$I_{мс}^2 t_{мс} = 39,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = I_K^2 \cdot t_{откл} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Выключатель на отходящие линии к КТП №11:

Таблица 22 – Выбор выключателя на отходящую линию

Расчетные значения	ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} = 72,8 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_K = 4,66 \text{ кА}$	$I_{откл ном} = 20 \text{ кА}$
$i_{уд} = 11,9 \text{ кА}$	$i_{пр.скв.} = 51 \text{ кА}$
$I_{мс}^2 t_{мс} = 39,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = I_K^2 \cdot t_{откл} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Принимаем вакуумный выключатель ВВУ-СЭЩ-ПЗ-10-20/1000 производства завода «Электроцит Самара» для всех отходящих линий.

Секционный выключатель:

Таблица 23 – Выбор секционного выключателя

Расчетные параметры	ВВУ-СЭЩ- П-10-20/1000У2
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} = 404,2 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_K = 11,9 \text{ кА}$	$I_{откл ном} = 51 \text{ кА}$
$i_{уд} = 4,66 \text{ кА}$	$i_{пр.скв.} = 20 \text{ кА}$
$I_{мс}^2 t_{мс} = 4,66^2 \cdot 1,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = I_K^2 \cdot t_{откл} = 20^2 \cdot 3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Принимаем выключатель ВВУ-СЭЦ-ПЗ-10-20/1000 производства завода «Электроцит Самара» [10].

Выбор измерительных трансформаторов и трансформатора собственных нужд:

Выбор трансформатора тока высокого напряжения:

$$S_{2н} \geq S_2 \quad (86)$$

где $S_{2н}$ - номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности;

S_2 - вторичная нагрузка трансформатора тока.

Выбираем трансформатор тока по данным условиям, параметры сведем в таблицу 24.

Вторичная нагрузка трансформатора тока сведена в таблицу 24.

Таблица 24 - Вторичная нагрузка трансформатора тока на стороне ВН

Прибор	Тип прибора	Нагрузка, ВА		
		А	В	С
Амперметр	Э-335	0,5	-	-
Итого		0,5	-	-

Таблица 25 – Выбор трансформатора тока на стороне ВН

Расчетные параметры	ТОГФ-110-УХЛ1
$U_{уст} = 110$ кВ	$U_{ном} = 110$ кВ
$I_{раб.макс} = 73,5$ А	$I_{ном} = 150$ А
$i_{y\partial} = 9,8$ кА	$i_{np.cкв.} = 23$ кА
$I_{mc}^2 t_{mc} = 11,86$ кА ² ·с	$B_K = I_K^2 \cdot t_{откл} = 675$ кА
$S_2 = 0,5$ В·А	$S_{2н} = 20$ В·А

Принимаем трансформатор тока ТОГФ-110-УХЛ1 завода электротехнического оборудования «ЗЭТО» [6].

Выбор трансформатора тока низкого напряжения, параметры трансформатора сведем в таблицу 25.

Вторичная нагрузка трансформатора тока сведена в таблицу 25.

Таблица 26 – Вторичная нагрузка трансформатора тока на стороне НН

Прибор	Тип прибора	Нагрузка, ВА		
		A	B	C
Многофункциональный цифровой электроизмерительный прибор	Ртутный 230 AR -00R		5	
Амперметр	Э-335	0,5		-
Итого		0,5	5	-

Таблица 27 – Выбор трансформатора тока на стороне НН

Расчетные параметры	ТОЛ-СЭЦ-10-IV
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} = 808,3 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$i_{уд} = 11,9 \text{ кА}$	$i_{пр.скв.} = 15 \text{ кА}$
$I_{мс}^2 t_{мс} = 39,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = I_K^2 \cdot t_{откл} = 300 \text{ кА}$
$S_2 = 5 \text{ В} \cdot \text{А}$	$S_{2н} = 7,5 \text{ В} \cdot \text{А}$

Принимается к установке трансформатор тока ТОЛ-СЭЦ-10-IV производства завода «Электроцит Самара» [10].

Выбор ТН, параметры трансформатора сведем в таблицу 28.

Таблица 28 – Выбор трансформатора напряжения

Расчетные параметры	НОЛ-СЭЦ-10
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$S_2 = 30,5 \text{ В} \cdot \text{А}$	$S_{2н} = 400 \text{ В} \cdot \text{А}$

К установке принимаем трансформатор напряжения НОЛ-СЭЦ-10 производства завода «Электроцит Самара» [10].

Выбор ТСН

Определяем потребителей и нагрузку трансформатора собственных нужд (Таблица 29):

Таблица 29 – Нагрузка подходящая ТСН

Потребители	Количество	Установленная мощность		cosφ	tgφ	Нагрузка	
		одного ЭП	группы ЭП			P _{уст} , кВт	Q _{уст} , кВар
Подогрев выключателя	2	1,8	3,6	1	0	3,6	0
Подогрев шкафов КРУ	17	1	17	1	0	17	0
Подогрев привода разъединителя	4	0,6	2,4	1	0	2,4	0
Освещение, вентиляция, отопление	1	17	17	0,8	0,75	13,6	10,2
Освещение ОРУ	1	2	2	0,86	0,59	1,72	1
Итого						38,32	11,2

Определяем расчетную нагрузку потребителей собственных нужд:

$$S_{расч} = k_c \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} \quad (87)$$

где k_c - коэффициент спроса учитывающий одновременность нагрузки;

$P_{уст}$ - суммарная активная установленная мощность электроприемников собственных нужд, кВт;

$Q_{уст}$ - суммарная реактивная установленная мощность электроприемников собственных нужд, квар.

Произведем расчет нагрузки потребителей собственных нужд:

$$S_{расч} = 0,8 \cdot \sqrt{38,32^2 + 11,2^2} = 32 \text{ кВА}$$

Выбираем трансформатор собственных нужд по условию, которым комплектуется шкаф КРУ ТЛС(3)-40-10,5/0,4 [10].

Произведем расчет кабельных линий проходящих по заводу. Расчет производится линии от РУ до РП компрессорной

Определяется расчетный ток по формуле:

$$I_p = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{400 + 2500}{\sqrt{3} \cdot 10} = 167,4 \text{ А} \quad (88)$$

где S_T - номинальная мощность трансформатора, ВА;

$U_{ном}$ - номинальное напряжение, В.

Определим длительно допустимый ток:

Число часов использования максимума нагрузки $T_m=4500$ ч

Среднегодовая температура почвы 15°C

$$I_{дл.доп.} = \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2} = \frac{167,4}{0,75 \cdot 1} = 223,2 \text{ А} \quad (89)$$

где k_1 - поправочный коэффициент на число работающих кабелей, лежащих в одной траншее;

k_2 - коэффициент, учитывающий температуру среды, отличную от расчетной.

Определим ток в аварийном режиме:

$$I_{авар} = \frac{S_m \cdot k_{з.пер}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot k_1 \cdot k_2} = \frac{(400 + 2500) \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,75 \cdot 1} = 312,5 \text{ А} \quad (90)$$

где $k_{з.пер}$ - коэффициент загрузки трансформатора в аварийном режиме.

Определим сечение по экономической плотности тока:

$$S = q_{\text{эк}} = \frac{I_p}{J_{\text{эк}}} = \frac{167,4}{1,7} = 98,5 \text{ мм}^2 \quad (91)$$

где $J_{\text{эк}}$ - экономическая плотность тока, А/мм².

Округлятся до ближайшего стандартного сечения $S=95 \text{ мм}^2$

Произведем расчет кабеля проложенного от РУ до РП компрессорной:

Минимальное сечение определяем по формуле:

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{39,1 \cdot 10^6}}{65} = 95,4 \text{ мм}^2$$

Минимальное сечение принимается равным 95 мм^2

Проверим все кабели на устойчивость к токам КЗ. Окончательно принятые сечения сведены в таблицу 30

Таблица 30 – Принятые сечения кабелей

От	До	$I_{\text{дл. доп}}$, А	$I_{\text{авар}}$, А	$S_{\text{авар}}$, мм ²	$S_{\text{эк}}$, мм ²	q_{min} , мм ²	Принятое сечение, мм ²
РУ	РП	223,2	312,5	150	95	95	3x150
РУ	КТП 7	127,8	178,9	70	50	95	3x95
КТП 7	КТП 6	79,3	111	35	35	95	3x95
КТП 6	КТП 1	30,8	43,1	35	35	95	3x95
РУ	КТП 12	147	205,9	70	70	95	3x95
КТП 12	КТП 10	98,5	138	35	50	95	3x95
КТП 10	КТП 5	50	70,1	35	35	95	3x95
КТП 5	КТП 9	19,3	26,9	35	35	95	3x95
РУ	КТП 11	69,3	97	35	35	95	3x95
КТП 11	КТП 8	38,5	53,9	35	35	95	3x95
КТП 8	КТП 2	19,3	26,9	35	35	95	3x95
РУ	КТП 4	154	215,5	95	70	95	3x95
КТП 4	КТП 3	77	107,8	35	35	95	3x95

Вывод по разделу 3

Расположение цехов предприятия позволяет разместить подстанцию в центре электрических нагрузок. Для питания завода применяется подстанция глубокого ввода, расположенная в центре электрических нагрузок. Такое расположение позволяет значительно сократить протяженность электрических сетей напряжением 10 кВ, а следовательно, уменьшить потери мощности и электроэнергии в этих сетях, повысить надежность электроснабжения, а также сократить капитальные затраты и эксплуатационные издержки на систему электроснабжения.

Выберем аппаратуру на стороне низкого напряжения ГПП. К установке принимается комплектное распределительное устройство производства «Электроцит Самара» с ячейки КРУ-СЭЩ 70

4 Расчет релейной защиты

«Расчет данных для определения уставок защиты трансформатора с применением устройства «Сириус-Т»

Для расчета уставок необходимо определить токи КЗ с учетом максимального и минимального режима работы энергосистемы. Расчет токов производим аналогично разделу 4.2.

Токи короткого замыкания в максимальном и минимальном режиме работы энергосистемы на стороне 110 кВ (точка К1) и шинах 10 кВ (точка К2) приведены в таблице 31.

Таблица 31 – Расчетные токи КЗ в максимальном и минимальном режимах работы

Расчетная точка КЗ	Режим энергосистемы	Ток КЗ
На стороне 110 кВ (К1)	Максимальный	4,61кА
	Минимальный	3,31кА
На шинах 10 кВ (К2)	Максимальный	7,7кА
	Минимальный	3,8кА

На рисунке 10 показано место установки защит трансформатора и точки повреждения, в которых необходимо знать токи КЗ для расчета уставок защит.

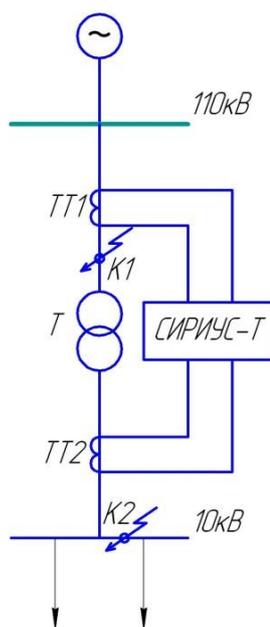


Рисунок 10 – Точки КЗ и место установки защит

Так как защиты трансформатора подключены к трансформаторам тока, установленным на стороне высшего напряжения трансформатора, поэтому необходимо знать, какие токи протекают по ним при повреждении на шинах низшего напряжения. Приведение токов КЗ в точке К2 к стороне ВН трансформатора выполняется по формуле:

$$I_{\text{К2 ВН}} = \frac{I_{\text{К2 НН}}}{K_T} \quad (92)$$

где $I_{\text{К2 НН}}$ – ток трехфазного КЗ на шинах НН (в точке К2);

K_T – коэффициент трансформации силового трансформатора.

Ток трехфазного короткого замыкания в максимальном режиме на шинах НН (точка К2), приведенный к стороне ВН трансформатора» [14], равен:

$$I_{\text{К2 ВН макс}} = \frac{7,7 \cdot 10^3}{115/10,5} = 703 \text{ А}$$

Ток трехфазного короткого замыкания в минимальном режиме на шинах 10кВ (точка К2), приведенный к стороне ВН трансформатора, равен:

$$I_{\text{К2 ВН мин}} = \frac{3,8 \cdot 10^3}{115/10,5} = 347 \text{ А}$$

«Расчет уставок дифференциальной защиты трансформатора, токовой отсечки, максимальной токовой защиты, а также расчет защиты от перегрузки выполняется в соответствии с методикой, изложенной в» [19].

«Дифференциальная защита трансформатора выполнена с применением устройства «Сириус-Т». Для выбора его параметров, сначала необходимо выбрать коэффициенты трансформации трансформаторов тока, устанавливаемых на всех сторонах защищаемого трансформатора. Трансформаторы тока на обеих сторонах собраны в звезду.

Методика выбора трансформаторов тока и расчет номинальных вторичных токов сторон трансформатора приведена в таблице 32.

Таблица 32 – Расчет уставок дифференциальной защиты

Наименование величины	Обозначение и метод определения	Численное значение для стороны	
		ВН	НН
Первичный ток на сторонах защищаемого трансформатора, соответствующий его номинальной мощности, А	$I_{\text{номперв.}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.ср.}}}$	50,2	550
Коэффициент трансформации трансформатора тока	K_1 $(I_{\text{перв.ТТ}} / I_{\text{втор.ТТ}})$	200/5	1000/5
Схема соединения трансформаторов тока	Y, D	Y	Y
Вторичный ток в плечах защиты, соответствующий номинальной мощности защищаемого трансформатора, А	$I_{\text{номвтор.}} = \frac{I_{\text{номперв.}}}{K_1} \cdot k_{\text{сх}}$	1,26	2,75
Принятые значения уставок	Диапазон уставок: (0,15-30,00)А	1,26	2,75

В соответствии с рекомендациями раздела «Дифференциальная защита трансформатора (ДЗТ)» для силового трансформатора со схемой соединения обмоток на стороне ВН трансформатора в звезду, а на стороне НН в треугольник, необходимо задать уставки: «Группа ТТ ВН» – 11, «Группа ТТ НН» – 0.

Расчет уставок чувствительной ступени дифференциальной защиты представлен в таблице 33.

Таблица 33 - Расчет уставок чувствительной ступени дифференциальной защиты

Наименование величины	Обозначение и метод определения	Числовое значение
Расчетный ток небаланса при протекании тока равного базисному	$I_{\text{НБрасч.}*} = K_{\text{пер}} K_{\text{одн}} \cdot \varepsilon + \Delta U_{\text{РПН}} + \Delta f_{\text{доб}}$	0,4
Выбор установки срабатывания	Должно выполняться условие: $I_{\text{д}}/I_{\text{баз}} \geq K_{\text{ОТС}} I_{\text{НБрасч.*}}$	0,48 $K_{\text{ОТС}} = 1,2$
Принятое значение базовой уставки срабатывания	$I_{\text{д}}/I_{\text{баз}}$ Диапазон уставки: $(0,3 - 1,0)I_{\text{баз}}$	Принимаем 0,5
Коэффициент снижения тормозного тока	$K_{\text{СН.Т.}} = 1 - 0,5 \cdot I_{\text{НБрасч.*}}$	0,8
Расчетный коэффициент торможения в процентах	$K_{\text{торм}} = \frac{100 \cdot I_{\text{диф}}}{I_{\text{торм}}} = \frac{K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{НБрасч.*}}}{K_{\text{СН.Т.}}} \cdot 100$	65 $K_{\text{ОТС}} = 1,3$
Принятое значение уставки коэффициента торможения	Диапазон уставки: (10-100)%	65
Принятое значение уставки второй точки излома	$I_{\text{т2}}/I_{\text{ном}}$ Рекомендуемый диапазон: $(0,3 - 1,0)I_{\text{ном}}$	2,0
Принятое значение уставки блокировки по второй гармонике	$I_{\text{дг2}}/I_{\text{дг1}}$ Диапазон уставки: (0,06 – 0,20)	0,15

Согласно исходным данным максимальный ток внешнего КЗ приведенный к стороне ВН равен 506,7 А.

Расчет установок дифференциальной отсечки сведен в таблицу 34.

Таблица 34 - Расчет установок дифференциальной отсечки

Наименование величины	Обозначение и метод определения	Числовое значение
Максимальный ток внешнего КЗ на стороне НН, приведенный к стороне ВН, А	$I_{\text{КЗ внешн макс}}$	506,7
Расчетный ток максимального внешнего КЗ приведенный к номинальному току трансформатора (в относительных единицах)	$I_{\text{КЗ внешн макс}^*} = \frac{I_{\text{КЗ внешн макс}}}{I_{\text{ном ВН}}}$	10,1
Расчетный ток небаланса при внешнем КЗ	$I_{\text{НБ}} = K_{\text{отс}} \left(\frac{K_{\text{пер}} K_{\text{одн}} \cdot \varepsilon +}{+ \Delta U_{\text{рпн}} + \Delta f_{\text{доб}}} \right) I_{\text{КЗ вн. макс.}^*}$	7,6 $K_{\text{отс}} = 1,5$
Выбор уставки срабатывания с учетом отстройки от БНТ и небаланса при внешнем КЗ	Должно выполняться условие: $I_{\text{диф}} / I_{\text{баз}} \geq I_{\text{НБ}}$ $I_{\text{диф}} / I_{\text{баз}} \geq 6$	Принимаем равное 8
Принятое значение уставки	Диапазон уставки: $(4,0 - 30,0) I_{\text{баз}}$	12

Коэффициент чувствительности ступени ДЗТ-2 устройства «Сириус-Т» равен:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{диф}} / I_{\text{баз}}}{I_{\text{д}} / I_{\text{баз}}} = \frac{12}{0,5} = 24 > 2 \quad (93)$$

Дифференциальная защита (ступень ДЗТ-2) устройства «Сириус-Т» удовлетворяет требованиям по коэффициенту чувствительности.

Токовая отсечка контролирует три фазных тока высшей стороны трансформатора $I_{\text{А ВН}}$, $I_{\text{В ВН}}$, $I_{\text{С ВН}}$ и предназначена для защиты от всех видов коротких замыканий. Она отстраивается от максимального тока внешнего

короткого замыкания. Максимальный ток внешнего КЗ приведенный к стороне ВН равен 506,7 А.

$$I_{\text{ТО}} \geq K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{КЗ внешн. макс.}} = 1,3 \cdot 506,7 = 658,7 \text{ А} \quad (94)$$

где $K_{\text{ОТС}} = 1,3$ - коэффициент отстройки, учитывающий ошибку в определении токов, и необходимый запас.

Токовая отсечка контролирует три фазных тока и включена на трансформаторы тока с соединением в звезду. Ток срабатывания реле токовой отсечки (МТЗ-1 ВН) равен:

$$I_{\text{ср.то}} \geq \frac{I_{\text{ТО}} \cdot K_{\text{сх}}}{K_{\text{ТТ ВН}}} = \frac{658,7 \cdot 1}{200/5} = 16,47 \text{ А} \quad (95)$$

Ток срабатывания реле МТЗ-1 ВН может изменяться от 0,40 до 200 А с дискретностью 0,01, поэтому за ток уставки токовой отсечки принимаем ближайший больший ток, который можно выставить в устройстве «Сириус-Т». Принимаем $I_{\text{ср.то}} = 16,47 \text{ А}$.

Рассчитывается действительный ток срабатывания токовой отсечки по формуле:

$$I_{\text{ТО}} = \frac{I_{\text{ср.то}} \cdot K_{\text{ТТ ВН}}}{K_{\text{сх}}} = \frac{16,47 \cdot 200/5}{1} = 658,8 \text{ А} \quad (96)$$

Для проверки чувствительности необходимо знать двухфазный ток короткого замыкания на выводах 110 кВ трансформатора в минимальном режиме работы энергосистемы.

Определяется ток двухфазного КЗ по формуле:

$$I_{\text{К1 мин}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{К1 мин}}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3310 = 2866,5 \text{ А} \quad (97)$$

Проверяется коэффициент чувствительности токовой отсечки при КЗ на стороне ВН (в точке К1) по формуле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К1 мин}}^{(2)}}{I_{\text{ТО}}} = \frac{2866,5}{658,8} = 4,35 > 1,2 \quad (98)$$

Таким образом, выполняем резервную защиту трансформатора токовой отсечкой (МТЗ-1 ВН) с использованием устройства «Сириус-Т».

Выбираем время срабатывания токовой отсечки.

Так как уставка токовой отсечки выбрана по формуле, то токовая отсечка будет действовать только при повреждениях в трансформаторе, и поэтому выдержка времени токовой отсечки принимается» [15] $t_{\text{ТО}} = 0,1$ с.

«В соответствии с разделом Выбор уставок токовой отсечки и максимально токовой защиты при расчете уставок МТЗ-2 ВН следует принимать следующие параметры, согласно рекомендациям [26].:

Коэффициент возврата реле – $k_{\text{В}}=0,92$;

Коэффициент запаса для отстройки от тока нагрузки – $k_{\text{ОТС}}=1,2$;

Коэффициент согласования с защитами предыдущих линий – $k_{\text{С}}=1,1$.

Максимальный вычисляется ток нагрузки трансформатора по формуле:

$$I_{\text{наг.ВН}} = \frac{S_{\text{наг.ВН}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.ВН}}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 50,2 \text{ А} \quad (99)$$

где $S_{\text{наг.ВН}}$ – максимальная нагрузка трансформатора, кВ·А;

$U_{\text{ном.ВН}}$ – номинальное напряжение стороны ВН трансформатора, кВ.

Ток срабатывания МТЗ определяется с учетом следующих коэффициентов:

Коэффициент отстройки $K_{\text{ОТС}}=1,2$;

Коэффициент самозапуска двигателей $K_{\text{ЗАП}}=1,5$;

Коэффициент возврата МТЗ ВН блока защит устройства $K_{\text{В}} = 0,92$.

Ток срабатывания МТЗ-2 ВН равен:

$$I_{\text{МТЗ}} \geq \frac{K_{\text{ОТС}} \cdot K_{\text{ЗАП}}}{K_B} \cdot I_{\text{наг.ВН}} = \frac{1,2 \cdot 1,5}{0,92} \cdot 50,2 = 98,2 \text{ А} \quad (100)$$

Максимально-токовая защита подключена к тем же трансформаторам тока, что и токовая отсечка со схемой соединения в звезду. Ток срабатывания реле максимальной токовой защиты (МТЗ-2 ВН) равен:

$$I_{\text{ср.МТЗ}} \geq \frac{I_{\text{МТЗ}} \cdot K_{\text{сх}}}{K_{\text{ТТ ВН}}} = \frac{98,2 \cdot 1}{200/5} = 2,455 \text{ А} \quad (101)$$

Ток срабатывания реле МТЗ-2 ВН может изменяться от 0,40 до 200 А с дискретностью 0,01, поэтому за ток уставки МТЗ-2 ВН принимаем ближайший больший ток, который можно выставить в устройстве «Сириус-Т». Принимаем $I_{\text{ср.МТЗ}} = 2,46 \text{ А}$.

Далее рассчитывается действительный ток срабатывания МТЗ-2 ВН по формуле:

$$I_{\text{МТЗ}} = \frac{I_{\text{ср.МТЗ}} \cdot K_{\text{ТТ ВН}}}{K_{\text{сх}}} = \frac{246 \cdot 200/5}{1} = 98,4 \text{ А} \quad (102)$$

Необходимо проверить коэффициент чувствительности МТЗ 2 при КЗ на стороне НН (в точке К2) по формуле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{К2 ВН мин}}}{I_{\text{МТЗ}}} = \frac{364,2}{98,4} = 3,7 > 1,5 \quad (103)$$

Отсюда следует, что максимально-токовая защита (МТЗ-2 ВН) устройства «Сириус-Т» удовлетворяет требованиям чувствительности к МТЗ» [15].

Выбираем время срабатывания максимально-токовой защиты (МТЗ-2 ВН) устройства «Сириус-Т» по следующей формуле:

$$t_{\text{МТЗ}} = t_{\text{макс}} + \Delta t = 2 + 0,3 = 2,3 \text{ с} \quad (104)$$

где $t_{\text{макс}}$ – максимальное время защит линий отходящих от шин НН трансформатора;

Δt – степень селективности.

Используем выдержку времени в МТЗ-2 ВН устройства «Сириус-Т».

«Защита от перегрузки устанавливается, как правило, на питающей стороне трансформатора и действует на сигнал. Для контроля перегрузки двухобмоточного трансформатора достаточно следить за токами в одной из его обмоток. Для удобства пользования в устройстве «Сириус-Т» можно вводить контроль токов как в обмотке стороны ВН трансформатора, так и в обмотке стороны НН.

Уставки задаются во вторичных значениях токов своей стороны напряжения, то есть приведение тока не используется.

Согласно [15] уставка сигнала перегрузки определяется по формуле:

$$I_{\text{пер}} \geq \frac{K_{\text{отс}}}{K_{\text{В}}} \cdot I_{\text{В.НОМ}} \quad (105)$$

где $K_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки защиты от перегрузки равен 1,05;

$K_{\text{В}}$ – коэффициент возврата токового реле равен 0,92;

$I_{\text{В.НОМ}}$ – номинальный вторичный ток трансформатора на стороне установки защиты от перегрузки.

Для рассматриваемого трансформатора, номинальные вторичные токи на среднем ответвлении на сторонах ВН и НН равны 1,26 и 2,75А из таблицы 32» [15].

Расчетные значения уставки защиты от перегрузки равны:

$$I_{\text{перВН}} \geq \frac{1,05}{0,95} \cdot 1,26 = 1,44 \text{ А}$$

$$I_{\text{перНН}} \geq \frac{1,05}{0,95} \cdot 2,75 = 3,14 \text{ А}$$

Время действия защиты от перегрузок выбирается больше, чем время действия всех защит.

Из рекомендаций методики расчета уставок Сириус-Т время срабатывания защиты от перегрузки принимается равным 9 с.

Используем выдержку времени «ТПЕРЕГР» в устройстве «Сириус-Т», с действием на сигнал.

Вывод к разделу 4

В результате расчета релейной защиты для потребителя с применением устройства «Сириус-Т», произведен расчет в точках короткого замыкания. Определены параметры для установки дифференциальной защиты и определены ступени срабатывания для особых условий работы потребителя. Время действия защиты от перегрузок выбирается больше, чем время действия всех защит. Из рекомендаций методики расчета уставок Сириус-Т время срабатывания защиты от перегрузки принимается равным 9 с. Используем выдержку времени «ТПЕРЕГР» в устройстве «Сириус-Т», с действием на сигнал.

5 Электробезопасность

«Электробезопасность - система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества» [4].

Основные организационные мероприятия

Оформление наряда, распоряжения или перечня работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;

Наряд - это задание на производство работы, оформленное на специальном бланке установленной формы и определяющее содержание, место работы, время ее начала и окончания, условия безопасного проведения, состав бригады и лиц, ответственных за безопасность выполнения работы, и пр. По наряду производятся работы по обслуживанию электроустановок, выполняемые:

- а) со снятием напряжения;
- б) без снятия напряжения на токоведущих частях и вблизи них.

Распоряжение - это задание на производство работы, определяющее ее содержание, место, время, меры безопасности (если они требуются) и лиц, которым поручено ее выполнение. Распоряжение может быть передано непосредственно или с помощью средств связи с последующей записью в оперативном журнале.

- Выдача разрешения на подготовку рабочего места и на допуск к работе в случаях, предусмотренных правилами.
- Допуск к работе;
- Надзор во время работы;
- Оформление перерыва в работе, изменения в составе бригады, перевода на другое место, окончания работы.

Технические мероприятия

- Спроектировано защитное зануление;
- Спроектировано защитное заземление;
- Вывешивание плакатов и ограждение рабочего места;
- Производство отключений;
- Проверка отсутствия напряжения;
- Наложение заземлений.

Основные защитные средства в сетях выше 1000 В:

- Изолирующие штанги и клещи;
- Указатели напряжения;
- Приборы для обеспечения безопасности при испытаниях в сети (измерительные клещи, приборы прокола кабеля).

Дополнительные средства в сетях выше 1000 В:

- Перчатки и боты;
- Ковры и подставки диэлектрические;
- Штанги для выравнивания потенциала;
- Лестницы и стремянки изолирующие.

Основные средства защиты в электроустановках до 1000 В:

- Изолирующие штанги и клещи;
- Указатели напряжения; измерительные клещи;
- Ручной инструмент с изоляцией;
- Перчатки диэлектрические.

Дополнительные средства в электросетях до 1000 В:

- Галоши, ковры и подставки диэлектрические;
- Накладки; лестницы и стремянки изолирующие.

Расчет заземления. Принимается сопротивление заземляющего устройства согласно [18]. Определяется расчетное удельное сопротивление грунта для горизонтальных и вертикальных электродов с учетом повышающего коэффициента K_{Π} , учитывающего высыхание грунта летом и промерзание зимой.

$$\rho_{\text{гг}} = \rho \cdot K_{\Pi} \quad (106)$$

$$\rho_{\text{рв}} = \rho \cdot K_{\Pi}, \quad (107)$$

где ρ - удельное сопротивление грунта.

Предварительно с учетом отведенной территории намечают расположение заземлителей по контуру.

Определяется сопротивление растеканию одного вертикального электрода

$$R_{\text{ВО}} = \frac{\rho_{\text{расч.г}}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) \quad (108)$$

Определяется ориентировочное число вертикальных заземлителей при предварительно принятом коэффициенте использования $K_{\text{ИВ}}$ (приложение П8):

$$N = \frac{R_{\text{ОВЭ}}}{K_{\text{ИВ}} R_{\text{И}}} \quad (109)$$

где $R_{\text{ОВЭ}}$ – сопротивление растеканию одного вертикального электрода.

Определяется расчетное сопротивление растеканию горизонтальных электродов $R_{\text{РГЭ}}$

$$R_{\text{РГЭ}} = \frac{R_{\text{ГЭ}}}{K_{\text{ИГ}}}, \quad (110)$$

где $R_{ГЭ}$ – сопротивление растеканию горизонтальных электродов,
 $K_{И}$ – коэффициент использования горизонтальных электродов в зависимости от ориентировочного числа вертикальных электродов.

$$R_{ГЭ} = \frac{\rho_{расч.в}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{dt} \quad (111)$$

Уточняется необходимое сопротивление вертикальных электродов с учетом проводимости горизонтальных соединительных электродов:

$$R_{ВЭ} = \frac{R_{РГЭ} R_{И}}{R_{РГЭ} - R_{И}} \quad (112)$$

Определяют число вертикальных электродов с учетом уточненного коэффициента использования:

$$N = \frac{R_{ОВЭ}}{K_{ИВУ} R_{ВЭ}} \quad (113)$$

Расчет искусственного заземления в цехе обработки корпусных деталей №6 и ГПП

Устанавливается необходимое по ПУЭ [17] допустимое сопротивление заземляющего устройства $r_3=4$ Ом.

Сопротивление искусственного заземлителя $R_{И}=4$ Ом.

Расчетное удельное сопротивление грунта (глина каменистая) $\rho_{расч} = 100$ Ом·м.

Заземление выполняется с помощью металлических стержней – электродов, заглубленных в грунт и соединенных между собой сверху полосой или прутом. Стержни располагаются в виде геометрической фигуры прямоугольник по периметру.

Предварительно принимаем длину электродов $L=3\text{м}$, диаметр электрода $d=50\text{мм}$, расстояние между электродами $a=3\text{м}$.

Определяется сопротивление растеканию одного вертикального электрода R_{BO} по формуле (108):

$$R_{BO} = \frac{100}{2 \cdot \pi \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{50 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4.5 + 3}{4.5 - 3} \right) = 26,2 \text{ Ом}$$

Определяется примерное число вертикальных заземлителей N при предварительно принятом коэффициенте использования K_{IB} по выражению (5.4):

$$N = \frac{26,2}{0,62 \cdot 3} = 14 \text{ шт.}$$

Определяется сопротивление растеканию горизонтальных электродов по выражению (5.6):

$$R_{ГЭ} = \frac{100}{2 \cdot \pi \cdot 3} \ln \frac{2 \cdot 3^2}{0,05 \cdot 5} = 22,7 \text{ Ом}$$

Уточняется необходимое сопротивление вертикальных электродов с учетом проводимости горизонтальных соединительных электродов по выражению:

$$R_{BЭ} = \frac{22,7 \cdot 3}{22,7 - 4} = 3,5 \text{ Ом}$$

Уточняется число вертикальных электродов с учетом коэффициентов использования по выражению:

$$N = \frac{26,2}{0,38 \cdot 3,5} = 20 \text{ шт.}$$

Окончательно принимается число вертикальных электродов равное 20.

Заземление ГПП выполняется с помощью металлических стержней – электродов, заглубленных в грунт и соединенных между собой сверху прутом. Стержни располагаются в несколько рядов.

Определяется расчетное удельное сопротивление грунта для горизонтальных и вертикальных электродов:

Глина каменистая: $\rho=100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

$$\rho_{\text{гг}}=100 \cdot 1,5=150 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{\text{рв}}=100 \cdot 1,5=150 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Предварительно принимаем число вертикальных электродов равное $N=20$.

Определим сопротивление растеканию одного вертикального электрода:

$$R_{\text{во}} = \frac{150}{2\pi \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,016} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5} \right) = 33 \text{ Ом}$$

Определяется ориентировочное число вертикальных заземлителей:

$$N = \frac{33}{0,66 \cdot 0,5} = 100 \text{ шт.}$$

Определяется расчетное сопротивление растеканию горизонтальных электродов:

$$R_{ГЭ} = \frac{150}{2\pi \cdot 3} \ln \frac{2 \cdot 3^2}{0,016 \cdot 0,7} = 50 \text{ Ом}$$

$$R_{ПГЭ} = \frac{50}{0,25} = 200 \text{ Ом}$$

Уточняется необходимое сопротивление вертикальных электродов с учетом проводимости горизонтальных соединительных электродов:

$$R_{ВЭ} = \frac{200 \cdot 0,5}{200 - 0,5} = 0,5 \text{ Ом}$$

Определяют число вертикальных электродов с учетом уточненного коэффициента использования:

$$N = \frac{33}{0,66 \cdot 0,5} = 100 \text{ шт.}$$

Окончательно принимается $N=100$ вертикальных электродов, расположенных в четыре ряда по 25 шт. диаметром $d=16\text{мм}$, длиной $l=5\text{м}$.

Расчет молниезащиты ГПП

Для защиты электрооборудования и сооружений подстанций 20 – 220 кВ как правило применяются многократные стержневые молниеотводы, располагаемые, на порталах ОРУ и на здании ЗРУ 10 кВ.

Расчет молниезащиты подстанции сводится к определению высоты молниеотводов и построению зоны защиты. Расчет производят в следующем порядке.

По известным данным D и h_x определяют ориентировочную высоту молниеотводов:

$$h \geq \frac{D}{8 \cdot p} + h_x \quad (114)$$

где D – диагональ прямоугольника, образованного четырьмя стержневыми молниеотводами, м;

h_x – высота защищаемого объекта;

p – поправочный коэффициент зависящий от высоты молниеотвода ($p=1$ при $h<30$ м). Для заводских подстанций $p=1$.

Определяют высоту зоны защиты h_0 между парами соседних молниеотводов.

$$h_0 = 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0.25 \cdot L_{1-2}^2} \quad (115)$$

где L_{1-2} – расстояние между молниеотводом, расположенным на входном портале, и молниеотводом, расположенном на здании ЗРУ.

Определяется оптимальная высота молниеотводов.

$$h_{opt} = 0,571 \cdot h_0 + \sqrt{0,183 \cdot h_0^2 + 0,0357 \cdot L_{1-2}^2} \quad (116)$$

Определяется радиус зоны защиты r_x , м, на высоте h_x каждого молниеотвода.

$$r_x = 1,5 \cdot (h - 1.25h_x) \quad (117)$$

Определяется ширина зоны защиты b_x , для каждой пары молниеотводов.

$$b_x = 3 \cdot (h_0 - 1.25h_x) \quad (118)$$

Определим ориентировочную высоту молниеотводов:

$$h \geq \frac{43,6}{8 \cdot 1} + 8 = 13,4 \text{ м.}$$

Принимаем высоту молниеотводов равную 16м.

Определяют высоту зоны защиты

$$h_0 = 4 \cdot 16 - \sqrt{9 \cdot 16^2 + 0,25 \cdot 35,9^2} = 12,8 \text{ м.}$$

$$h_0 = 4 \cdot 16 - \sqrt{9 \cdot 16^2 + 0,25 \cdot 19,5^2} = 15 \text{ м.}$$

$$h_0 = 4 \cdot 16 - \sqrt{9 \cdot 16^2 + 0,25 \cdot 20,5^2} = 15 \text{ м.}$$

Определяем оптимальная высота молниеотводов:

$$h_{opt} = 0,571 \cdot 12,8 + \sqrt{0,183 \cdot 12,8^2 + 0,0357 \cdot 35,9^2} = 16 \text{ м.}$$

$$h_{opt} = 0,571 \cdot 15 + \sqrt{0,183 \cdot 15^2 + 0,0357 \cdot 19,5^2} = 14 \text{ м.}$$

$$h_{opt} = 0,571 \cdot 15 + \sqrt{0,183 \cdot 15^2 + 0,0357 \cdot 20,5^2} = 14 \text{ м.}$$

Определяется радиус зоны защиты:

$$r_x = 1,5 \cdot (16 - 1,25 \cdot 8) = 9 \text{ м.}$$

Определяется ширина зоны защиты:

$$b_x = 3 \cdot (16 - 1,25 \cdot 8) = 18 \text{ м.}$$

$$b_x = 3 \cdot (14 - 1,25 \cdot 8) = 15 \text{ м.}$$

$$b_x = 3 \cdot (14 - 1,25 \cdot 8) = 15 \text{ м.}$$

По полученным данным построим внешнюю границу зоны защиты молниеотводов рисунки 11 и 12.

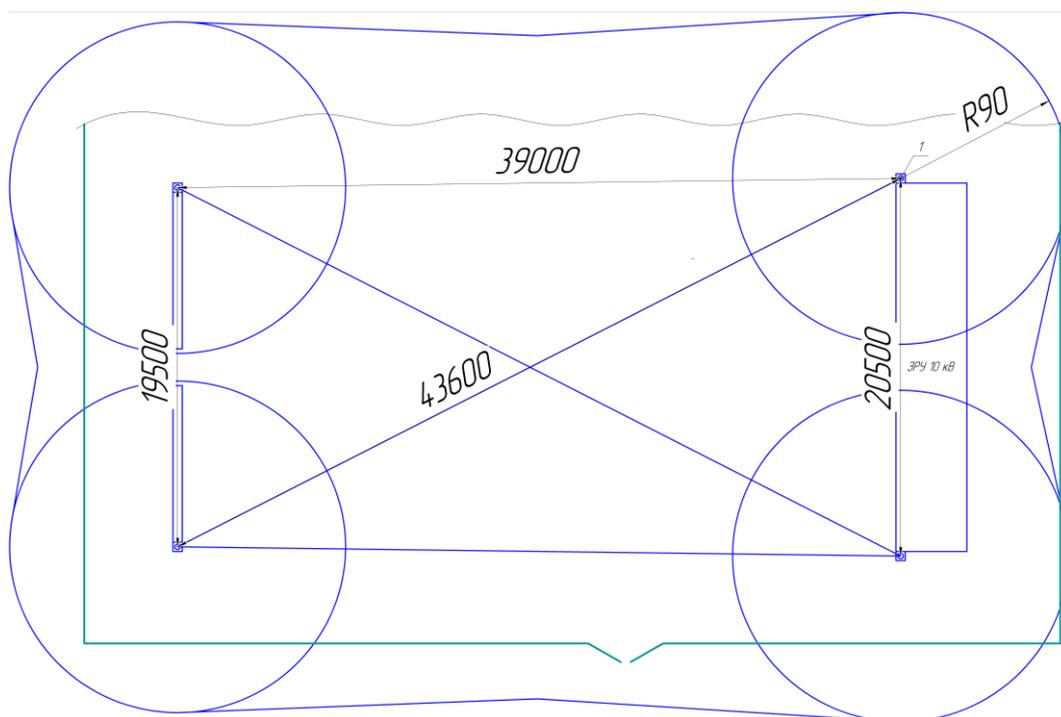


Рисунок 11 – Зона молниезащиты

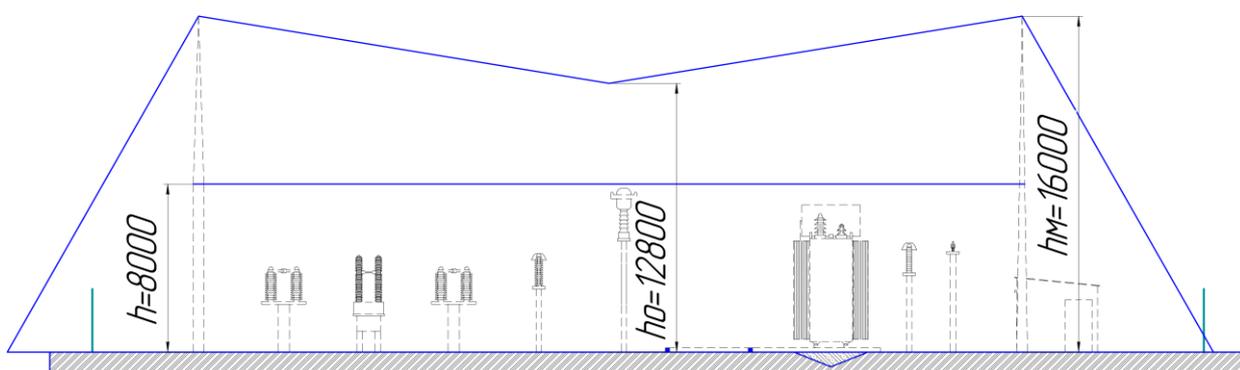


Рисунок 12 – Зона молниезащиты

К установке принимаем граненые молниеотводы МОГК-8 и МОГК-16 производителя «Лайт Проф Поволжье» [8].

Вывод к разделу 5

Описаны основные мероприятия необходимые на производстве, на котором применяется подобное электрооборудования. Также указан основной перечень оборудования, который необходим на этом производстве, для обеспечения монтажных мероприятий и обеспечения электробезопасности.

Произведен расчет заземлителей, с учетом особенностей грунта. Заземление выполняется с помощью металлических стержней – электродов, заглубленных в грунт и соединенных между собой вверху полосой или прутом.

Также для защиты электрооборудования и персонала ГПП произведен расчет молнии защиты с указанием его габаритных параметров.

Заключение

В ходе дипломного проектирования были рассмотрены следующие вопросы: характеристика цеховых электроприемников; расчет электрических нагрузок; расчет системы освещения проектируемого цеха; компенсация реактивной мощности с помощью конденсаторных установок; выбор мощности силовых трансформаторов и внутризаводских подстанций; выбор сечений питающих линий напряжением выше 1000 В и до 1000 В; расчет токов короткого замыкания; выбор оборудования; расчет заземляющих устройств; расчет релейной защиты трансформаторов ГПП.

К установке принимается комплектное распределительное устройство производства «Электрощит Самара» с ячейки КРУ-СЭЩ 70, так как они имеют большой ряд номинальных токов, комплектуются большим количеством типов выключателей, всем необходимым дополнительным оборудованием собственного производства и обладают более компактными размерами относительно конкурентов.

Для защиты электрооборудования и сооружений подстанций 20 – 220 кВ как правило применяются многократные стержневые молниеотводы, располагаемые, на порталах ОРУ и на здании ЗРУ 10 кВ.

Рассмотрены меры безопасности при обслуживании и ремонте электрооборудования, защитные средства, применяемые на промышленном предприятии.

Заземление выполняется с помощью металлических стержней – электродов, заглубленных в грунт и соединенных между собой сверху полосой или прутом. Стержни располагаются в виде геометрической фигуры прямоугольник по периметру.

К установке принимаем граненые молниеотводы МОГК-8 и МОГК-16 производителя «Лайт Проф Поволжье»

Список используемых источников

1. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 / СП 52.13330.2011.
2. Ардатовский светотехнический завод [Электронный ресурс] / Информационный ресурс URL: <http://www.astz.ru/ru-production/> - (дата обращения 10.08.2021).
3. Быстрицкий Г.Ф. / Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов: Учеб. пособие для вузов: Учеб. пособие для сред. проф. образования /Г.Ф.Быстрицкий, Б.И.Кудрин. — М.: Издательский» центр «Академия», 2003. — 176 с.
4. ГОСТ 12.1.009-82. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения.
5. Каталог «Гильдия Энергоаудиторов» [Электронный ресурс] / Информационный ресурс URL: <http://www.guildenergo.ru> (дата обращения 10.08.2021).
6. Каталог «ЗЭТО» завод электротехнического оборудования [Электронный ресурс] / Информационный ресурс URL: <http://www.zeto.ru/> - (дата обращения 10.08.2021).
7. Каталог «Контакт» [Электронный ресурс] / Информационный ресурс URL: <http://www.kontakt-saratov.ru> (дата обращения 10.08.2021).
8. Каталог «ЛАЙТ ПРОФ ПОВОЛЖЬЕ» [Электронный ресурс] / Информационный ресурс URL: <http://www.light-prof.ru> –(дата обращения 10.08.2021).
9. Каталог «ПромЭлектроАвтоматика» [Электронный ресурс] / Информационный ресурс URL: <http://www.pea.ru/> (дата обращения 10.08.2021).
10. Каталог «Самарский Электрощит» [Электронный ресурс] / Информационный ресурс URL: <https://electroshield.ru/catalog/> (дата обращения 10.08.2021).

11. Каталог «СЕВЗАППРОМ» [Электронный ресурс] / Информационный ресурс URL: <http://www.szp.spb.ru> (дата обращения 10.08.2021).
12. Каталог «Тольяттинский трансформатор» [Электронный ресурс] / Информационный ресурс URL: <http://www.transformator.com.ru/> (дата обращения 10.08.2021).
13. Каталог «Электрокабель» Кольчугинский завод» [Электронный ресурс] / Информационный ресурс URL: <http://www.elcable.ru/product/catalog/> (дата обращения 10.08.2021).
14. Конюхова Е. А. / Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. - М.: Издательство «Мастерство», 2002.-320 с: ил.
15. Методические указания для дипломного проектирования защит трансформаторов раздела «Релейная защита» / Д.Н. Шестаков - Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2011.
16. Ополева Г.Н. / Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник. Учебное пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М. М -2006. 480стр. (Высшее образование).
17. Правила устройства электроустановок / Минэнерго России. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 640 с.
18. Проектирование главной понизительной подстанции предприятия: учеб. пособие / А.И. Земцов, И.А. Вокин. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 101 с.: ил.
19. Рекомендации по выбору уставок устройства защиты двухобмоточного трансформатора «Сириус-Т» [Электронный ресурс] / Информационный ресурс URL: <http://www.rza.ru/catalog/> - «РАДИУС Автоматика» (дата обращения 10.08.2021).
20. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем: ме-тод. указ. / Сост. А.И. Земцов. – Сызрань: филиал Самар. гос. техн. ун-та в г. Сызрани, 2017. – 68 с.: ил.

21. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов.—3-е изд., перераб. и доп. — М.:Энергоатомиздат, 1987. — 648 с.: ил
22. Системы электроснабжения городов и промышленных предприятий: Метод. указ. / Сост. С.С.Иванова. — Сызрань: филиал Самар. гос. техн. ун-та в г. Сызрани, 2017. — 51 с.: ил.
23. Справочная книга для проектирования электрического освещения. / Под ред. Г.М. Кнорринга, И.М. Фадиной, В.М. Сидорова. 2-е изд., перераб. и доп.— Спб.: Энергоатомиздат. 1992.
24. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кв. Типовые решения. / СО-2007 / Первая редакция / №278 тм.
25. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учеб. пособ. для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1987.
26. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: Монография. — СПб.: ПЭИПК, 2003. — 555 с.
27. Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование: Учебник. — М: ФОРУМ; ИНФРА-М. 2004. — 407 с: ил. — (Профессиональное образование).
28. Электрическое освещение: Задания для контрольной работы // Н.Н. Родионов; Самар. гос. техн. ун-т, Самара, 2008. 27 с.
29. Электрическое освещение: методическое пособие по курсовому проектированию / Н.Н. Родионов, — Сызрань. Самар. гос. техн. ун-т, 2016. — 28 с.: ил.
30. Электротехнический справочник: В 4 т., Электротехнические изделия и устройства / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. И.Н. Орлов) — 9-е изд., стеро. — М.: Издательство МЭИ, 2003.

31. ЭТМ профессиональный дистрибьютор электротехники на всей территории России [Электронный ресурс] / Информационный ресурс URL: <https://www.etm.ru/> - (дата обращения 10.08.2021).

Приложение А

Список нагрузок цеха №6

Таблица А.1 – Список нагрузок цеха №6

Позиция	Наименование	Кол-во	Мощность, кВт	Ки	tgφ
1; 36	Привод ворот	2	0,6	0,05	0,88
9; 27; 48-49; 74-75	Вертикально-сверлильный	6	25	0,14	1,73
6-7; 25-26; 61-62	Горизонтально-сверлильный	6	28,3	0,2	1,17
3; 21; 38; 54	Шлифовально-обдирочный	4	47,8	0,2	1,17
4-5; 22-24	Карусельно-фрезерный	5	80	0,2	1,17
39-44; 55-60; 70-73	Наждачный	16	26,9	0,14	1,73
45-47; 63-65; 76-77	Горизонтально-расточной	8	68,7	0,2	1,17
85-91; 93-100; 102-103	Токарный	16	17,6	0,2	1,17
10-12; 28-30	Станки с ЧПУ	6	9,5	0,14	1,73
13-18	Горизонтально-расточной малый	6	14,7	0,14	1,73
31-36	Горизонтально-сверлильный малый	6	18,7	0,2	1,17
50-52; 78	Продольно-фрезерный	4	21,7	0,2	1,17
68-69	Прессовочный	2	11,6	0,14	1,73
66-67; 79-82	Притирочный	6	14,7	0,14	1,73
104-107	Краны	4	10,35	0,1	1,73
2; 8; 19; 83; 92; 103	Вентилятор	6	20	0,65	0,75
20; 53; 83; 103	Калорифер	4	9	0,65	0,75

Приложение Б
Распределения нагрузок

Таблица Б.1 – Распределения нагрузок

№ п/п	Наименование	Кол-во	Установленная мощность приведенная к 100%		m=	Ки	cosφ	tgφ	Средняя нагрузка за максимально нагруженную смену		пэ	Коэффициент максимума	Максимальная (расчетная) нагрузка			I, А
			Одного электроприемника	Общая					Р, кВт	Q, квар			Р, кВт	Q, квар	S, кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ШМА 1																
ШРА 1																
Группа А																
1	Привод ворот	1	0,6	0,6		0,05	0,76	0,88	0,03	0,0264						
2	Шлифовально-обдирочный	1	47,8	47,8		0,2	0,65	1,17	9,56	11,185						
3	Карусельно-фрезерный	2	80	160		0,2	0,65	1,17	32	37,44						
4	Горизонтально-сверлильный	2	28,3	56,6		0,2	0,65	1,17	11,32	13,244						
5	Вертикально-сверлильный	1	25	25		0,14	0,5	1,73	3,5	6,055						
	Итого по группе А	7			>3	0,19		1,2	56,41	67,95	5	2,47	139,03	96,7		

Продолжение приложения Б

Продолжение таблицы Б.1

Группа Б																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Вентиляторы	2	20	40		0,65	0,8	0,75	26	19,5			26	19,5		
	Итог по группе Б	2		40					26	19,5			26	19,5		
Итог по ШРА 1									82,41	87,451			165,03	96,2	191	290
ШРА 2																
Группа А																
1	Станки с ЧПУ	3	9,5	28,5		0,14	0,5	1,73								
2	Горизонтально-расточной мал.	6	14,7	88,2		0,14	0,65	1,73								
	Итог по группе А	9				0,14					9	2,23				
Группа Б																
1	Вентилятор	1	20	20		0,65	0,8	0,75								
	Итог по группе Б															
Итог по ШРА 2									29,34	38,014			49,4	41,8	64,72	98,3
ШРА 3																
Группа А																
1	Шлифовально-обдирочный	2	47,8	95,6		0,2	0,65	1,17								
2	Карусельно-фрезерный	3	80	240		0,2	0,65	1,17								
3	Горизонтально-сверлильный	2	28,3	56,6		0,2	0,65	1,17								
4	Вертикально-сверлильный	1	25	25		0,14	0,5	1,73								
5	Наждачный	6	26,9	161,4		0,14	0,5	1,73								
6	Горизонтально-расточной	3	68,7	206,1		0,2	0,65	1,17								
7	Привод ворот	1	0,6	0,6		0,05	0,76	0,88								
	Итог по группе А	18				0,18					13,3	1,76				

Продолжение приложения Б

Продолжение таблицы Б.1

Группа Б																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Калорифер	1	9	9		0,65	0,8	0,75								
	Итог по группе Б															
	Итог по ШРА 3								151,64	189,56			262,4	189,6	323,7	491,8
ШРА 4																
Группа А																
1	Станки с ЧПУ	3	9,5	28,5		0,14	0,5	1,73								
2	Горизонтально-сверлильный мал.	6	18,7	112,2		0,2	0,65	1,17								
3	Вертикально-сверлильный	2	25	50		0,14	0,5	1,73								
4	Продольно-фрезерный	3	21,7	65,1		0,2	0,65	1,17								
	Итог по группе А	14									14	1,74				
	Итог по ШРА 4					0,18			46,45	60,5			81	60,5	101,1	153,62
	Итог по ШМА 1								329,3	400			445,42	400	598,69	909,62
ШРА 5																
Группа А																
1	Шлифовально-обдирочный	1	47,8	47,8		0,2	0,65	1,17								
2	Наждачный	10	26,9	269		0,14	0,5	1,73								
3	Горизонтально-сверлильный	2	28,3	56,6		0,2	0,65	1,17								
4	Вертикально-сверлильный	2	25	50		0,14	0,5	1,73								
5	Горизонтально-расточной	2	68,7	137,4		0,2	0,65	1,17								
	Итог по группе А	17				0,17					17	1,68				

Продолжение приложения Б

Продолжение таблицы Б.1

Группа Б																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Калорифер	1	9	9		0,65	0,8	0,75								
	Итого по группе Б															
	Итого по ШРА 5								98,87	138,23			162,47	138,23	213,32	324,1
ШРА 6																
Группа А																
1	Горизонтально-расточной	3	68,7	206,1		0,2	0,65	1,17								
2	Продольно-фрезерный	1	21,7	21,7		0,2	0,65	1,17								
3	Притирочный	6	14,7	88,2		0,14	0,5	1,73								
4	Прессовочный	2	11,6	23,2		0,14	0,5	1,73								
	Итого по группе А	12				0,18					7	2,2				
	Итого по ШРА 6								61,16	80,29			136,48	88,32	162,56	246,98
ШРА 7																
Группа А																
1	Токарный	9	17,6	123,2		0,2	0,65	1,17								
	Итого по группе А	9				0,2					9	1,96				
Группа Б																
1	Вентилятор	2	20	40		0,65	0,8	0,75								
2	Калорифер	1	9	9		0,65	0,8	0,75								
	Итого по группе Б															
	Итого по ШРА 7								63,53	60,95			94	67	115,5	175,43

Продолжение приложения Б

Продолжение таблицы Б.1

ШРА 8																
Группа А																
1	Токарный	7	17,6	123,2		0,2	0,65	1,17								
	Итого по группе А	7				0,2					7	2,15				
Группа Б																
1	Вентилятор	1	20	20		0,65	0,8	0,75								
2	Калорифер	1	9	9		0,65	0,8	0,75								
	Итого по группе Б															
	Итого по ШРА 8								43,49	42,97			71,85	47,26	86	130,66
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Итого по ШМА 2								268,1	324,23			394,87	324,2 3	510,93	776,27
ШМТ 1,2,3																
	Краны	4	10,35	41,4		0,1	0,5	1,73	4,14	7,16	4	3,56	14,74	7,88	17,72	25,4
Освещение																
	Осветительная установка	1	17,22	17,22		0,95	0,65	1,17								

Приложение В

Расчет осветительной сети цеха №6

Таблица В.1 – Расчет осветительной сети цеха №6

Ответвление	Расчетный ток	Автомат				Кабель/Провод	
		Тип автомата	Номинальный ток	Номинальное напряжение	Количество полюсов	Тип провода	Номинальный ток
РП							
Вводной	26,7	ВА47-23	40	220/400	3	АВВГ (4x16)	32
ЩО1							
Вводной	25,5	ВА47-23	40	220/400	3	АВВГ (4x16)	32
К линии 1	4,1	ВА47-29	6	220/400	3	АПВ (4x2,5)	23
К линии 2	4,1	ВА47-29	6	220/400	3	АПВ (4x2,5)	23
К линии 3	4,1	ВА47-29	6	220/400	3	АПВ (4x2,5)	23
К линии 4	4,4	ВА47-29	6	220/400	3	АПВ (4x2,5)	23
К линии 5	4,4	ВА47-29	6	220/400	3	АПВ (4x2,5)	23
К линии 6	4,4	ВА47-29	6	220/400	3	АПВ (4x2,5)	23
ЩО2							
Вводной	1,4	ВА47-60	3	220/400	3	АВВГ (4x2,5)	23
К складу инструментов	1	ВА47-29	2	220/400	2	АПВ (4x2,5)	23
К комнате начальника цеха	0,8	ВА47-29	2	220/400	2	АПВ (4x2,5)	23
К комнате мастеров	0,8	ВА47-29	2	220/400	2	АПВ (4x2,5)	23
К ОТК	0,8	ВА47-29	2	220/400	2	АПВ (4x2,5)	23
Аварийное освещение							
К ПАО	0,33	ВА47-29	1	220/400	1	АВВГ (4x2,5)	23

Приложение Г

Результаты расчета нагрузок завода

Таблица Г.1 – Результаты расчета нагрузок завода

Наименование групп электроприемников	$P_{ном},$ кВт	k_c	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Инструментальный							
Станки	660	0,16	0,6	1,33	105,6	140,45	
Краны	22	0,1	0,5	1,73	2,2	3,806	
Освещение	18	0,9	0,65	1,17	16,2	18,954	
Вентиляторы	80	0,75	0,8	0,75	60	45	
Заводоуправление	220	0,6	0,9	0,48	132	63,36	
КПП №1	20	0,5	0,96	0,3	10	3	
Итого					326	274,57	426,22
2. Ремонтный							
Станки	1230	0,16	0,6	1,33	196,8	261,74	
Краны	22	0,1	0,5	1,73	2,2	3,806	
Освещение	18	0,9	0,65	1,17	16,2	18,954	
Вентиляторы	80	0,75	0,75	0,8	60	48	
Столовая	340	0,8	0,9	0,48	272	130,56	
Итого					547,2	463,06	716,838
3. Опытный							
Станки	520	0,6	0,8	0,75	312	234	
Краны	22	0,1	0,5	1,73	2,2	3,806	
Освещение	20	0,9	0,65	1,17	18	21,06	
Вентиляторы	120	0,75	0,8	0,75	90	67,5	
ЦЗЛ	220	0,5	0,8	0,75	110	82,5	
Итого					532,2	408,87	671,125
4. Модельный							
Станки	840	0,2	0,6	1,33	168	223,44	
Краны	30	0,1	0,5	1,73	3	5,19	
Освещение	33	0,9	0,65	1,17	29,7	34,749	
Вентиляторы	60	0,75	0,8	0,75	45	33,75	
КПП №2	20	0,5	0,96	0,3	10	3	
Итого					255,7	300,13	394,284
5. Литейно-кузнечный							
Печи сопротивления	1320	0,8	0,95	0,33	1056	348,48	
Кузнечное оборудование	1480	0,4	0,65	1,17	592	692,64	
Краны	115	0,1	0,5	1,73	11,5	19,895	
Освещение	110	0,9	0,65	1,17	99	115,83	

Продолжение приложения Г

Продолжение таблицы Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Вентиляторы	160	0,75	0,8	0,75	120	90	
Склад сырья и ГСМ	240	0,5	0,55	1,5	120	180	
Итого					1998,5	1446,8	2467,26
6. Обработки корпусных деталей							
Итого	2844				840,29	724,3	938,881
7. Штамповочный							
Станки, прессы	1420	0,4	0,65	1,17	568	664,56	
Освещение	55	0,9	0,65	1,17	49,5	57,915	
Вентиляторы	80	0,75	0,8	0,75	60	45	
Итого	1780				764	898,72	1179,57
9. Строительный							
Станки	1420	0,16	0,6	1,33	227,2	302,18	
Краны	22	0,1	0,5	1,73	2,2	3,806	
Освещение	18	0,9	0,65	1,17	16,2	18,954	
Вентиляторы	80	0,75	0,8	0,75	60	45	
Итого					305,6	369,94	479,837
10. Сварочный							
Сварочное оборудование	890	0,75	0,65	1,17	667,5	780,98	
Краны	65	0,1	0,5	1,73	6,5	11,245	
Освещение	36	0,9	0,65	1,17	32,4	37,908	
Вентиляторы	120	0,75	0,8	0,75	90	67,5	
Итого					796,4	897,63	1200
11. Покрасочный							
Оборудование	410	0,7		1	287	287	
Краны	22	0,1	0,5	1,73	2,2	3,806	
Освещение	25	0,9	0,65	1,17	22,5	26,325	
Вентиляторы	160	0,75	0,8	0,75	120	90	
Итого					551,7	587,13	805,665
13. Сборочный							
Станки	1690	0,2	0,45	1,89	338	638,82	
Краны	120	0,1	0,5	1,73	12	20,76	
Освещение	50	0,9	0,65	1,17	45	52,65	
Вентиляторы	120	0,75	0,8	0,75	90	67,5	
Тарный	220	0,14		1	30,8	30,8	
КПП №3	20	0,5	0,96	0,3	10	3	
Итого					615,8	869,33	1065,34

Продолжение приложения Г

Продолжение таблицы Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8
8. Котельно-компрессорный							
Компрессорное оборудование	890	0,4	0,8	0,75	356	267	
Котельные агрегаты	335	0,55	0,95	0,33	184,25	60,8	
Освещение	26	0,9	0,65	1,17	23,4	27,378	
Вентиляторы	80	0,75	0,8	0,75	60	45	
Итого					623,65	400	741
СДВЗ-143/51-10	4x1250		0,9		5000		5000
Итого по заводу							
	20158				12914	7641	16086