

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 механосборочного предприятия

Обучающийся

А.И. Захаров

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И. Платов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

## Аннотация

Выпускная работа состоит из пояснительной записки и графического материала.

Объём пояснительной записки составляет 84 страницы, включая 24 рисунков, 21 таблиц и 29 источников литературы.

Графическая часть оформлена на семи листах формата А1.

В исследовании представлены технические решения по выбору источников питания и расчету электросети механического цеха на промышленном предприятии. Проведен расчет электрических нагрузок, обоснован выбор трансформаторов для цеховой подстанции, определены места их установки, а также силовые сети системы электроснабжения и их каналы. Рассмотрены меры по компенсации реактивной мощности и предложены схемы компоновки распределительных устройств.

Выбор ключевых компонентов системы электроснабжения обеспечивает оптимизацию работы цеха с учетом возможного увеличения производственных мощностей. Принятые решения могут служить основой для дальнейшей разработки системы электроснабжения механического цеха.

## Содержание

Введение .....	5
1 Определение целей и задач проектирования системы электроснабжение .....	7
1.1 Характеристика объекта электроснабжения.....	7
1.2 Анализ состояния энергосистемы предприятия, формулировка целей и задач проектирования .....	9
2 Разработка предложений по построению системы электроснабжения предприятия.....	16
2.1 Определение расчетных нагрузок цехов по установленной мощности и коэффициенту спроса.....	16
2.1.1 Выбор электродвигателей для оборудования цеха.....	16
2.1.2 Выбор схемы электроснабжения цеха.....	19
2.1.3 Расчет электрических нагрузок .....	22
2.1.4 Расчет нагрузки по предприятию в целом .....	33
2.2 Определение центра электрических нагрузок предприятия. Анализ электрических нагрузок, определение мощности силовых трансформаторов .....	34
2.3 Расчет токов КЗ .....	39
2.3.1 Расчет токов короткого замыкания в цеховой сети НН.....	39
2.3.2 Расчет токов короткого замыкания в сети напряжением выше 1000В.....	47
2.4 Выбор электрооборудования.....	53
2.4.1 Выбор комплектных шинопроводов.....	53
2.4.2 Выбор аппаратов защиты цеховой сети.....	54
2.4.3 Выбор сечений питающей сети цеха .....	56
2.4.4 Выбор типа подстанции.....	60
2.4.5 Выбор оборудования подстанции.....	62
2.5 Реконструкция релейной защиты и автоматики .....	66
3 Система освещения и молниезащиты.....	69

3.1 Система освещения .....	69
3.2 Система молниезащиты .....	76
Заключение .....	79
Список используемой литературы.....	82

## Введение

В последние годы обеспечение стабильного электроснабжения энергетических хозяйств приобретает особую важность из-за снижения надежности внешнего электроснабжения, вызванного короткими замыканиями в сетях напряжением 110–220 кВ, которые составляют более 70% всех аварий в системах электроснабжения.

Кратковременные перебои в электроснабжении представляют наибольшую опасность для предприятий с комплексными технологическими процессами, которые активно применяют автоматизацию для выполнения своих задач.

В таких условиях ответственность за обеспечение надежности электроснабжения все чаще ложится на потребителей электроэнергии.

Качество электроэнергии существенно влияет на технологические процессы в любом производстве. Изменения в энергоснабжении, которые могут нарушить производственный процесс или повредить оборудование, зачастую обусловлены низким качеством электроэнергии.

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается задача электроснабжения группы цехов механосборочного предприятия, входящего в состав АО «Коломенский завод», а также модернизации электрохозяйства механического цеха.

В текущий момент многие государства все больше обращают внимание на проблемы энергоемкости своего производства — это соотношение между объемом потребляемых энергетических ресурсов, основную часть которых составляет электроэнергия.

Актуальность выпускной квалификационной работы связана с потребностью в обеспечении стабильного и высококачественного электроснабжения механосборочного производства, учитывающего его перспективные нужды.

Объектом данного исследования является механосборочное предприятие, входящее в состав АО «Коломенский завод», а также механический цех данного предприятия.

Предметом исследования является электрохозяйство механического цеха и группы цехов механосборочного предприятия.

Рассматривая вопрос улучшения эффективности использования электроэнергии, можно выделить три ключевых аспекта: обеспечение высококачественного производства электроэнергии, стабильное её перенаправление и распределение через надежные сети.

Без надежной и качественной работы распределительных электрических сетей невозможно обеспечить стабильное функционирование электроэнергетического комплекса.

Цель данной работы — создание проекта электроснабжения группы цехов механосборочного предприятия и, более подробно, механического цеха предприятия.

Основные задачи:

- разработать схему электроснабжения для питания цехов предприятия и механического цеха в частности;
- подобрать эффективные источники света;
- выполнить расчеты электрических нагрузок по цеху и предприятию;
- спроектировать распределительную сеть и выбрать линии электроснабжения, а также устройства защиты и коммутации;
- определить наилучшие параметры трансформаторов для электроснабжения механосборочного завода, что обеспечит необходимую надежность новой энергетической системы.

В процессе выполнения работы были использованы стандартные решения и серийное электрооборудование. Для расчетов применялась современная вычислительная техника, что позволило повысить точность и эффективность.

# 1 Определение целей и задач проектирования системы электроснабжение

## 1.1 Характеристика объекта электроснабжения

АО «Коломенский завод» — это одно из ведущих российских предприятий в сфере транспортного машиностроения, имеющее долгую историю. С 2005 года оно является частью группы «Трансмашхолдинг».

Завод, расположенный по адресу: Московская область, Коломна, улица Партизан, 42А, продолжает свою деятельность, внося значительный вклад в развитие машиностроительной отрасли страны.

На предприятии установлены металлорежущие станки. Из общего числа металлорежущего оборудования: 200 единиц специализированных станков, 600 автоматов и полуавтоматов, 710 станков для финишной обработки и 150 станков с числовым программным управлением, среди которых 20 обрабатывающих центров.

В настоящее время в эксплуатацию вводится новое механосборочное производство.

Основные потребители подстанции КТП 10/0,4 кВ сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Электрические нагрузки по цехам

Наименование цехов	Категория по электроснабжению	Установленная мощность, кВт
Административный корпус и проходная	II	125
Инструментальный цех	II	260
Сборочный корпус	II	240
Корпус металлообработки	II	190
Электроцех	II	165
Цех ремонтно- механический	III	175
Механический цех	II	300

В механосборочном производстве функционирует свыше 120 поточных линий и участков, применяются автоматизированные линии, а также гибкие производственные системы «Вернер и Кольт».

Механосборочный цех имеет производственные, вспомогательные, служебные и бытовые помещения и представлен на рисунке 1.

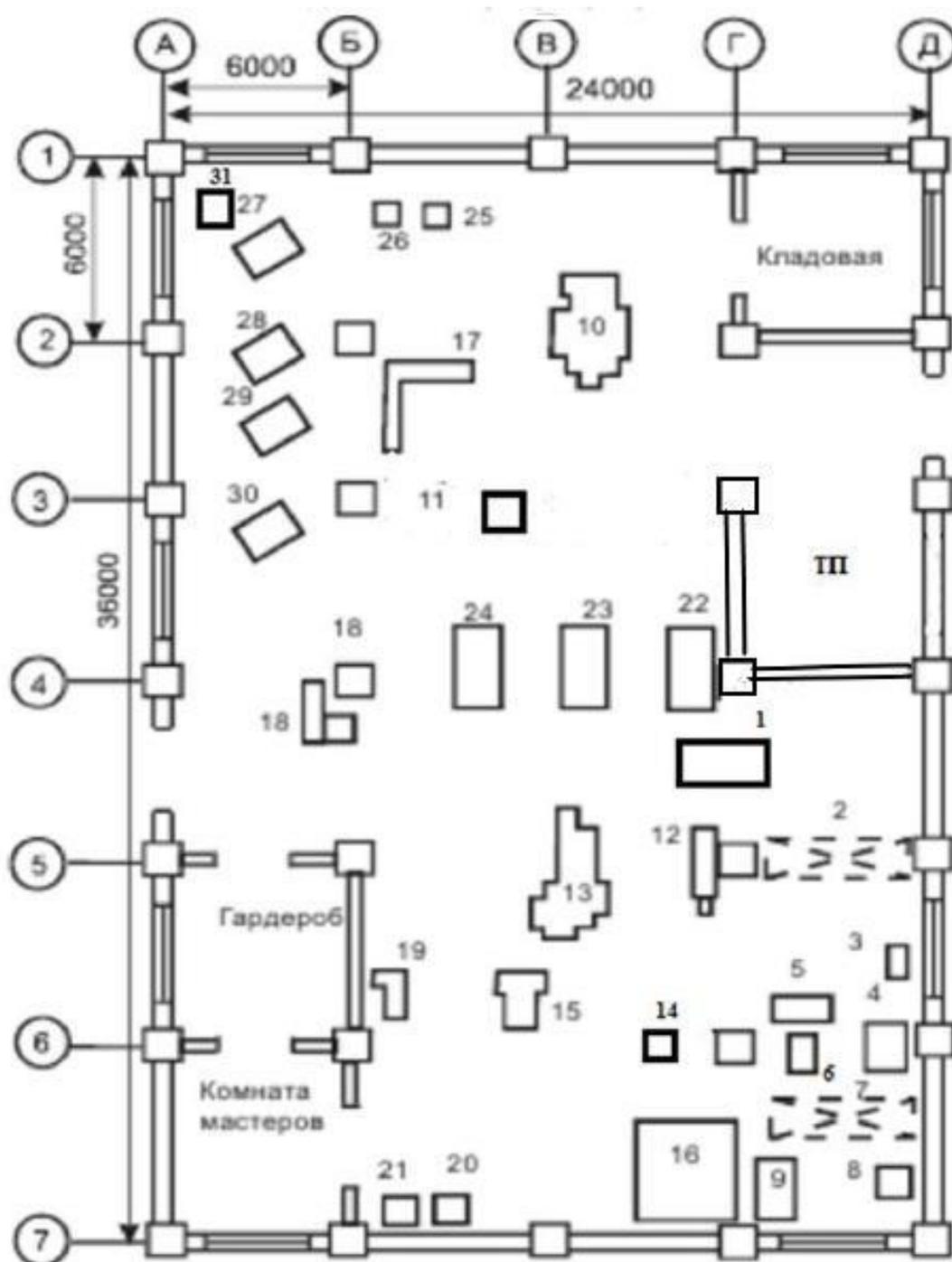


Рисунок 1 – План расположения оборудования механического цеха

Количество рабочих смен – 2.

Потребители электроэнергии в цехе (ЭП) 2 и 3 категории надежности.

Высота основного помещения с размещенным технологическим оборудованием -8м. Высота вспомогательных помещений – 3,2 м.

Данные по установленному оборудованию механического цеха сведены в таблицу 2

Таблица 2 – Исходные данные по механическому цеху

№ на плане (рисунок 1)	Наименование электрооборудования	Мощность, Рн, кВт
1, 3, 5, 9, 14	Токарный станок Voley	6
2, 7	Кран-балки ПВ=60%	5
8, 31	Вытяжные системы	5
10, 13	Фрезерный станок Schaublin	8
11	Пила Varga VA21-15	2,2
12	Токарный станок с ПУ Schaublin	3,2
6, 21	Координатно-расточной станок WKV-100	1,6
4, 20	Фрезерный станок с ПУ Picomax	10
15, 19	Шлифовальный станок OVERBECK	5,5
16	Круглошлифовальный станок Fortuna	3
17, 18	Обрабатывающий центр с ПУ Kitamura-300	30
22– 24	Токарный станок с ПУ RT-2SP №6553	4
25, 26	Внутришлифовальный станок Overbeck-250I	4,5
27 - 30	Токарный станок GDW-LS250	9

## **1.2 Анализ состояния энергосистемы предприятия, формулировка целей и задач проектирования**

Жизнеспособность группы цехов обеспечивается трансформаторной подстанцией 10/0,4 кВ, которая в свою очередь подключена к подстанции ПС110 кВ мощностью 50 МВА.

Подключение КТП 10/0,4 кВ к системе электроснабжения выполнено линией длиной 1 км.

На КТП 10/0,4 кВ механического цеха установлены 2 (два) силовых трансформатора мощностью 630 кВА каждый.

Модернизируемый цех классифицируется как потребитель II категории

по уровню надежности электроснабжения. Отключение электроэнергии в этом случае может вызвать значительные материальные потери, нарушить сложные технологические процессы и повредить работу критически важных объектов.

Суточный график электрических нагрузок цеха приведен на рисунке 2.

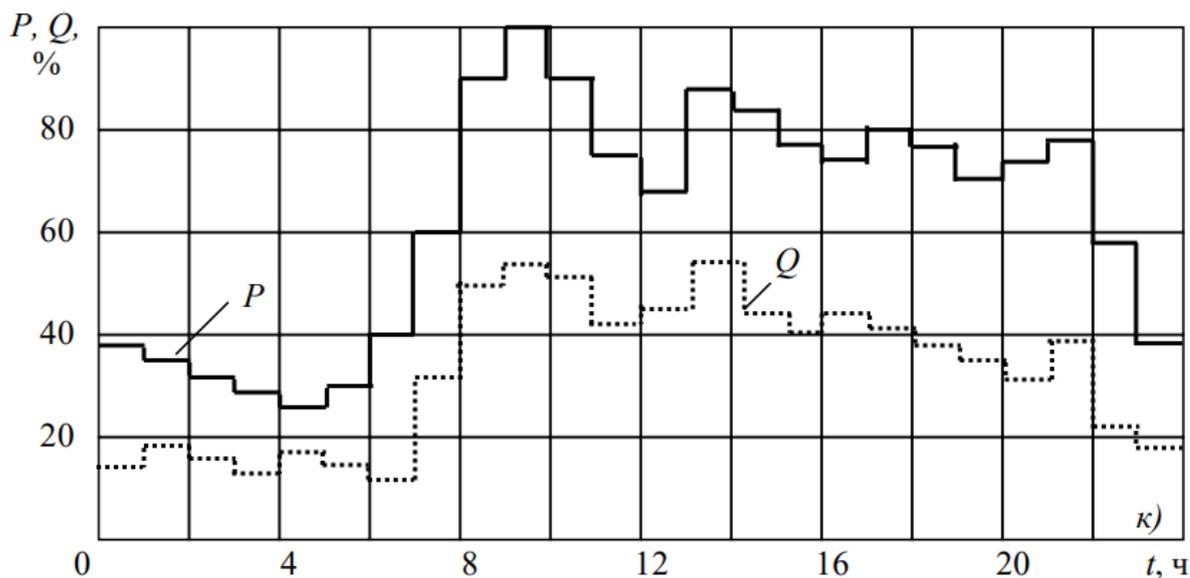


Рисунок 2 – Суточный график электрических нагрузок

В связи с моральным устареванием оборудования в производственном цехе было принято решение заменить старые станки на новые с числовым программным управлением (ЧПУ).

Длительный режим работы является основным для большинства электрических устройств. В этом режиме функционируют все станки, печи, насосы, компрессоры и вентиляторы.

Кроме того, к существующей подстанции будут подключены новые цехи механосборочного предприятия.

В настоящее время распределительное устройство 10 кВ подстанции цеха включает в себя одну секцию шин, не обладающую функцией автоматического включения резерва (АВР) в случае отключения питания. Питание этой секции шин осуществляется через два ввода, которые подключены к различным секциям ЗРУ-10 кВ.

Планируется осуществить ряд мероприятий, направленных на обновление схемы электропитания механического цеха, путем изменения её на двухсекционное РУ-10 кВ.

В связи с этим требуется разработать новую систему электроснабжения для цеха и группы цехов механосборочного предприятия, а также установить автоматическое устройство АВР.

В помещении необходимо установить систему уравнивания потенциалов в соответствии с главой 1.7 ПУЭ, которая включает соединение следующих проводящих элементов:

- основной защитный проводник (РЕ) от питающей линии;
- металлические трубы коммуникаций;
- металлические компоненты строительных конструкций.

Все перечисленные элементы подключаются к главной заземляющей шине по радиальной схеме с помощью проводников системы уравнивания потенциалов, выполненных из меди в соответствии с требованиями ПУЭ.

В качестве главной заземляющей шины используется шина РЕ вводного распределительного щита.

Выбор метода прокладки силовых кабелей и проводов зависит от множества факторов, среди которых можно выделить:

- возможность воздействия окружающей среды на трассу кабелей или проводов (или на кабеленесущую систему в целом);
- местоположение прокладки силовой линии;
- общая площадь сечений электрокабелей и проводов, а также протяженность линии.

Основным способом защиты кабельных и проводных трасс является механическая защита. Это означает, что электрические системы помещаются в металлические короба, устанавливаются на кабельные лотки или скрываются в трубах. Для специфических условий эксплуатации созданы специальные кабельные лотки и короба, такие как огнестойкие и герметичные.

В цехе функционируют осветительные сети при напряжении 220 В, что подразумевает использование четырехпроводной сети. В этом случае, согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ, пункт 1.7.38), обязательно требуется применение нейтрали с глухо заземленным исполнением.

Прогнозирование потребления электрической энергии и мощности (ЭМ) является критически важным для различных объектов – от небольших городов и промышленных предприятий до объединенных и территориальных энергосистем, а также единой энергетической системы.

Основные аспекты организации электроосвещения включают следующие пункты:

- источник света должен иметь цветовую температуру от 2420 до 6480 к, чтобы создать удобную атмосферу;
- длина волн светового потока должна составлять от 320 до 440 нм для правильного восприятия цветов;
- коэффициент эффективности освещения должен находиться в диапазоне от 0,8 до 1,6%;

Энергетический паспорт здания механического цеха представлен в таблице 3

Таблица 3 – Энергетический паспорт здания после проведенного обследования. Общие сведения.

Дата проведения проверки	11.12.2023
Полное наименование	Промышленный объект
Адрес объекта	-
Год постройки	1986 год
Этажность	Один этаж
Количество сотрудников	69
Размещение застройки	Здание отдельно стоящее
Потребление электроэнергии за год	58931,8 кВт·ч

Динамика потребления электроэнергии цехом изображена на рисунке 3.

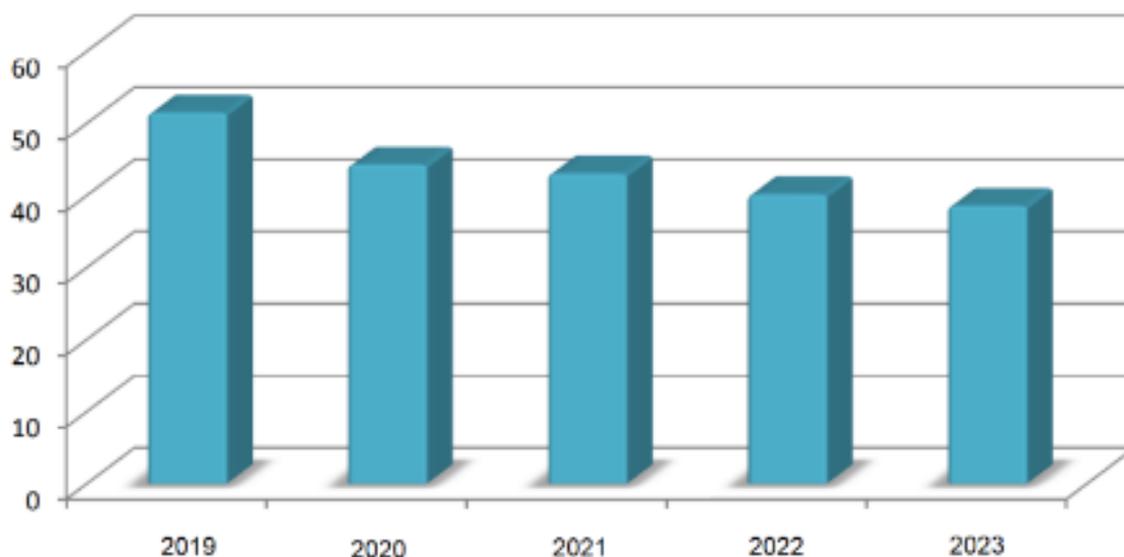


Рисунок 3 – Динамика потребления электроэнергии

По результатам анализа освещения на производственном участке установлено, что требования к уровню освещенности не выполняются. Кроме того, наблюдается тенденция к ухудшению световых условий. В настоящее время уровень освещения составляет всего 158 люкс при стандартном значении в 300 люкс, что представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Источники света помещений, используемые на момент обследования

Тип помещения	Норма освещенности, лк	Тип источника	Светильник
Кладовая	150	T8	ЛСП
Подстанция	100	T12	ЛБ 40

Продолжение таблицы 4

Тип помещения	Норма освещенности, лк	Тип источника	Светильник
Комната мастеров	150	T12	ЛБ 40
Гардероб	100	T12	ЛБ 40
Станочное отделение	300	ДРЛ-250	ГСП

В производственных помещениях применяются автоматические выключатели типа АЕ.

Старые автоматы уже изжили свой ресурс и не выполняют современных норм электробезопасности.

Старые электрические проводки зачастую не соответствуют характеристикам современных защитных устройств, особенно в тех случаях, когда соотношение срабатывающих токов электромагнитного и теплового расцепителей достигает 7-10 и выше.

Выбор подходящей защиты для старой электропроводки, чтобы она соответствовала стандартам при коротком замыкании (отключение линии за 0,2 секунды при 380 В и за 0,4 секунды при 220 В в сетях с глухозаземленной нейтралью), является сложной и иногда практически невыполнимой задачей.

Вместо простого ремонта устаревшей сети важно создать проект новой электропроводки и заменить старые провода на современные кабели.

При выборе автоматических выключателей с различными временно-токовыми характеристиками всегда стоит стремиться к наиболее эффективному решению.

При токах короткого замыкания, превышающих порог срабатывания электромагнитного расцепителя автоматического выключателя с комбинированным расцепителем, защита кабелей оказывается гораздо более эффективной по сравнению с автоматическими выключателями, имеющими обратно зависящую от тока временную характеристику. Согласно руководящему документу РД 45.155-2000, при замене силового кабеля рекомендуется переход на пятипроводную систему заземления.

Цель данной работы — создание проекта электроснабжения группы цехов механосборочного предприятия и, более подробно, механического цеха предприятия.

Основные задачи:

- разработать схему электроснабжения для питания цехов предприятия и механического цеха в частности;
- подобрать эффективные источники света;
- выполнить расчеты электрических нагрузок по цеху и предприятию;
- спроектировать распределительную сеть и выбрать линии электроснабжения, а также устройства защиты и коммутации;
- определить наилучшие параметры трансформаторов для электроснабжения механосборочного завода, что обеспечит необходимую надежность новой энергетической системы.

## 2 Разработка предложений по построению системы электроснабжения предприятия

### 2.1 Определение расчетных нагрузок цехов по установленной мощности и коэффициенту спроса

#### 2.1.1 Выбор электродвигателей для оборудования цеха

При выборе мощности электродвигателя необходимо учитывать тип нагрузок, которые будут воздействовать на рабочую машину. Оценка этих нагрузок происходит по критериям:

- Номинальный режим эксплуатации;
- Изменения в потребляемой мощности.

Данные о выборе двигателей представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор двигателей для электроприемников

№ по плану (рисунок 1)	Электроприемник	Количество	Р, кВт	Паспортные данные электродвигателей						
				Тип двигателя	Рн, кВт	Ином, А	U, кВ	Ипус А	п, об/мин	η, %
1,3,5,9,14	Токарный станок Voley	5	6	1LG/1MG	6	12,5	0,38	7,5	1500	82
2, 7	Кран-балки ПВ=60% подъем груза Передвижные тележки Передвижные крана	2	3	ДМТКН 111-6	3	9,5	0,38	44,5	900	68
			0,6	1LA9073-4LA	0,6	1,64	0,38	-	1500	70
			1,4	DMTF012-6	2,2	7,7	0,38	-	1000	73,5
8, 31	Вытяжные системы	2	5	АИР 132 S8/4	5	10,3	0,38	60,8	1500	81
10, 13	Фрезерный станок Schaublin	2	8	1LG/1MG	8	30,1	0,3	120	1000	78
11	Пила Varga VA21-15	1	2,2	1LE1001-1AC6	2,2	5	0,38	25	1000	81,8
12	Токарный станок с ПУ Schaublin	1	3,2	1LG/1MG	3,2	6	0,38	36	3000	90
6, 21	Координатно-расточной станок WKV-100	2	2	1LG/1MG	2	4	0,38	24	1000	81
4, 20	Фрезерный станок с ПУ Picomax	2	10	1LG/1MG	10	22,2	0,38	155,4	550	89,5
15, 19	Шлифовальный станок OVERBECK	2	5,5	1LG/1MG	5,5	11,2	0,38	67	1000	90

Продолжение таблицы 5

№ по плану (рисунок 1)	Электроприемник	Кол.	P, кВт	Паспортные данные электродвигателей						
				Тип двигателя	P <sub>н</sub> , кВт	I <sub>ном</sub> , А	U, кВ	I <sub>пус</sub> , А	n, об/мин	η, %
16	Круглошлифовальный станок Fortuna	1	3	1LG/1MG	3	6	0,38	30	3000	85
17, 18	Обрабатывающий центр с ПУ Kitamura-300	2	30	1LG/1MG	30	57	0,38	399	1000	92
22-24	Токарный станок с ПУ RT-2SP	3	4	1LG/1MG	4	8,8	0,38	61,6	1000	84
25, 26	Внутришлифовальный станок Overbeck	2	4,5	1LG/1MG	4,5	10	0,38	70	1500	85
27 - 30	Токарный станок GDW-LS250	4	9	1LG/1MG	9	20	0,38	120	1000	85

Номинальный ток рассчитывается с использованием следующей формулы:

$$I_H = \frac{P'_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \eta \cdot \cos \phi} \quad (1)$$

Для двигателей, работающих в режиме повторно-кратковременной нагрузки, номинальный ток определяется по следующему уравнению:

$$I_H = \frac{P'_{НОМ} \cdot \sqrt{ПВ}}{0,875 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \eta \cdot \cos \phi} \quad (2)$$

где ПВ – продолжительность включения.

Пусковой ток – это величина тока, который возникает в электрической цепи в момент запуска оборудования или при его включении. Этот параметр имеет важное значение, так как он может значительно превышать обычный рабочий ток, что способно вызвать перегрузку и повреждение электрических

компонентов. Пусковой ток возникает из-за инерционных свойств подключаемых электродвигателей или трансформаторов, когда они начинают свою работу и требуют большего тока для преодоления статического сопротивления.

Для эффективного функционирования и защиты оборудования часто используются специальные устройства, такие как плавкие предохранители или автоматические выключатели, которые способны реагировать на такие скачки тока. Знание максимального значения пускового тока позволяет правильно не только подобрать оборудование, но и спланировать электроснабжение так, чтобы минимизировать риск сбоев в работе системы.

Правильный расчет пускового тока также может помочь в выборе подходящих кабелей и защитных устройств, что в конечном итоге способствует надежной работе всей установки.

Пусковой ток рассчитывается по номинальному току  $I_H$  с умножением на коэффициент пуска КП:

$$I_{\text{п}} = K_{\text{п}} \cdot I_H \quad (3)$$

Номинальный ток поперечно-строгального станка

$$I_H = \frac{6,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,83 \cdot 0,875} = 12,5\text{А}$$

Пусковой ток поперечно-строгального станка:

$$I_{\text{п}} = 7 \cdot 12,5 = 87,5\text{А}$$

Ток наибольшего двигателя крана:

$$I_H = \frac{3 \cdot \sqrt{0,6}}{0,875 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,68 \cdot 0,6} = 9,5\text{А}$$

Пусковой ток:

$$I_{II} = 4,68 \cdot 9,5 = 44,5A$$

### 2.1.2 Выбор схемы электроснабжения цеха

Для электроприемников II категории допускаются временные отключения электроснабжения от одного из источников в случае его нарушения, при этом время простоя должно быть использовано для активации резервного питания силами дежурного персонала или выездной бригады.

Так как электропотребители расположены в цехе равномерно и их мощности имеют небольшие отличия, мы используем магистральную схему, представленную на рисунке 4 для повышения гибкости работы и снижения затрат.

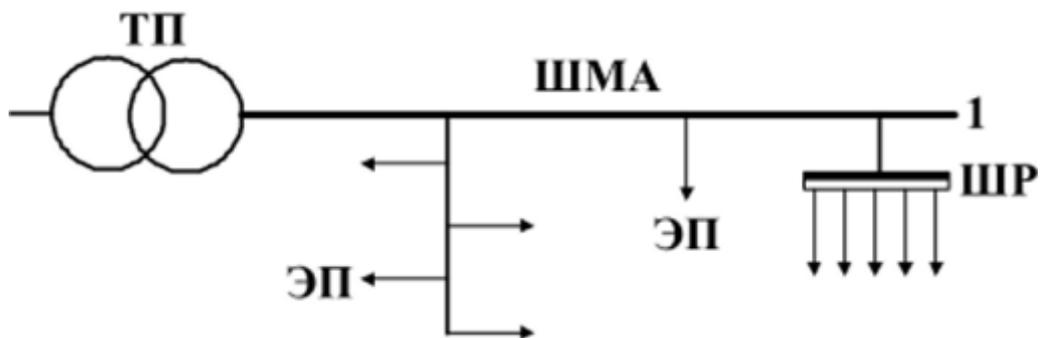


Рисунок 4– Магистральная схема типа блока трансформатор - магистраль

От цеховой подстанции проходит шинопровод. Высота установки ШРА составляет 2,5 метра от уровня пола, они размещаются на колоннах цеха, попадая в «мертвую зону» кранов.

Шинопровод представляет собой комплектное устройство, произведенное на заводе, которое включает проводники, изоляторы и другие элементы, специально предназначенные для передачи и распределения электрической энергии.

Выбираем шинопроводы GDA 63-2500A и GDR 100-2500A, с точками подключения каждые 0,25 метра, представленному на рисунке 5.



Рисунок 5 – Распределительный шинопровод GDA 63-2500А, GDR 100-2500А

Выбираем троллейный шинопровод PRODUCTOR50-300А. Самозатухающий ПВХ с 10-ю проводниками. Проводники: Медь

Выбираем магистральный шинопровод ISOLSBARRA 630-6300А представленному на рисунке 6.

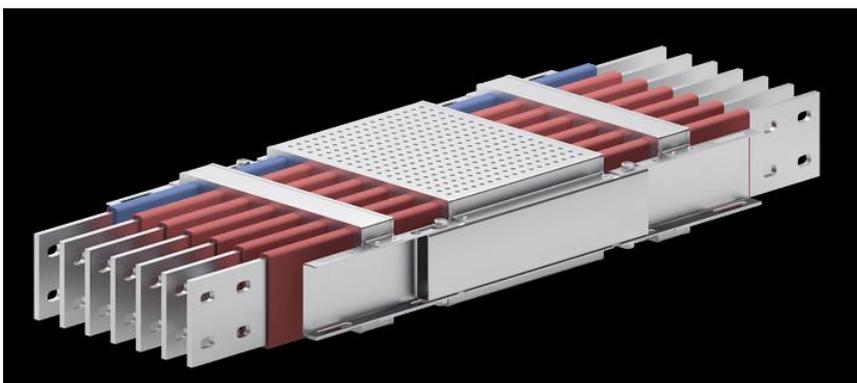


Рисунок 6 – Магистральный шинопровод ISOLSBARRA 630-6300А

Для составления плана расстановки электрооборудования распределим электроприемники по ШРА1 и ШРА2.

Все ЭП группируются по характерным категориям с одинаковыми  $K_i$  и  $tg\varphi$ .

1 группа ШРА-1

1 подгруппа: №№10,11, 22-24, 25, 26, 27 – 30

2 подгруппа: №17, 18

3 подгруппа: №31

2 группа ШРА-2

1 подгруппа: №№ 1,3,5, 9, 14,4,20,6,21, 12,13, 15,19,16

2 подгруппа: кран-балки №№2, 7

3 подгруппа №8

При выборе метода прокладки кабелей опираемся на пункт 2.3.134 из [2]. Система электроснабжения делится на электроэнергию для технологических потребителей и освещения.

Разрабатываем план расположения оборудования и трасс кабелей на рисунке 7.

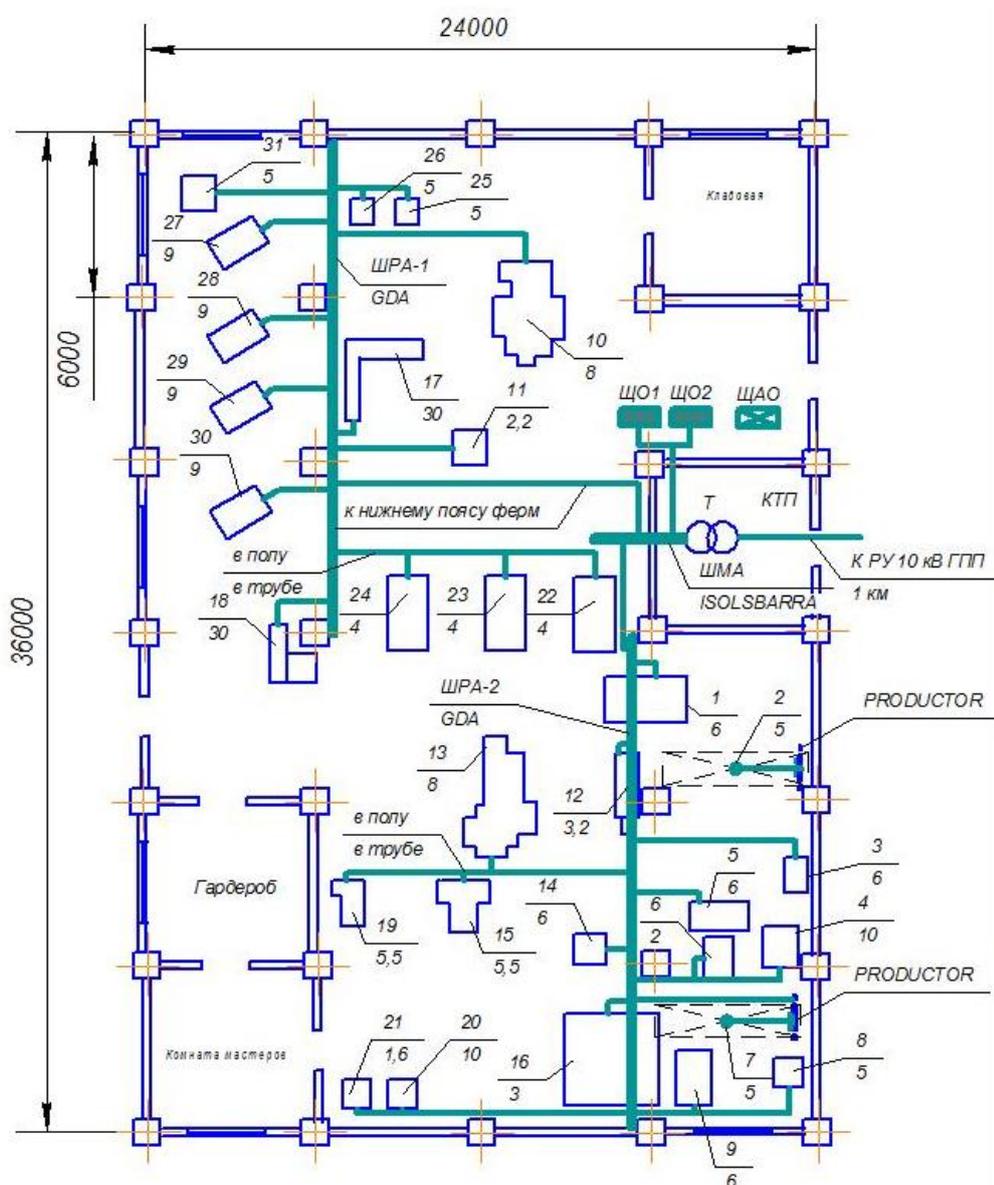


Рисунок 7 – План питающей и распределительной сети

Общая схема электропитания и заземления реализована по типу TN-C-S.

Электрооборудование подключено к трехфазному напряжению 380 В (включая вентиляторы, станки, мостовые краны, печи).

Питание для освещения осуществляется от сети с напряжением 0,4 кВ (сеть 380/220 В).

Щит рабочего освещения получает электричество от трансформатора КТП с использованием кабелей и автоматических выключателей, оборудованных УЗО.

Щит аварийного освещения ЩАО питается от ближайшей цеховой подстанции.

### 2.1.3 Расчет электрических нагрузок

Расчет силовой нагрузки цеха производим методом упорядоченных диаграмм или коэффициента максимума  $K_m$  [1].

Исходными данными для проектирования является план цеха с расположением оборудования и спецификация оборудования цеха.

Перечень электрооборудования, размещенного в цехе, его установленная мощность и количество приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристика электрооборудования цеха

№ на плане (рисунок 7)	Наименование электрооборудования	Мощность, $P_n$ , кВт	$K_i$	$\cos\varphi/ \operatorname{tg}\varphi$
1,3,5,9,14	Токарный станок Voley	6	0,14	0,5/1,73
2, 7	Кран-балки ПВ=60%	5	0,1	0,5/1,73
8, 31	Вытяжные системы	5	0,8	0,8/0,75
10, 13	Фрезерный станок Schaublin	8	0,14	0,5/1,73
11	Пила Varga VA21-15	2,2	0,14	0,5/1,73
6, 21	Координатно-расточной станок WKV-100	1,6	0,14	0,5/1,73

Продолжение таблицы 6

№ на плане (рисунок 7)	Наименование электрооборудования	Мощность, Р <sub>н</sub> , кВт	Ки	cosφ/ tgφ
4, 20	Фрезерный станок с ПУ Picomax	10	0,14	0,5/1,73
12	Токарный станок с ПУ Schaublin	3,2	0,14	0,5/1,73
15, 19	Шлифовальный станок OVERBECK	5,5	0,14	0,5/1,73
16	Круглошлифовальный станок Fortuna	3	0,14	0,5/1,73
17, 18	Обрабатывающий центр с ПУ Kitamura-300	30	0,17	0,65/1,17
22-24	Токарный станок с ПУ RT-2SP	4	0,14	0,5/1,73
25, 26	Внутришлифовальный станок Overbeck-250I	4,5	0,14	0,5/1,17
27 - 30	Токарный станок GDW-LS250	9	0,14	0,5/1,73

Классифицируем в узле питания электроприемники, обладающие схожими коэффициентами использования  $K_{и}$  и мощностями cosφ по подгруппам. Для каждой группы электроприемников определяем установленную мощность, используя формулу [1]:

$$P_{уст} = N \cdot P_{ном} \quad (4)$$

где N - число электроприёмников;

$P_{ном}$  - номинальная мощность одного электроприёмника, кВт.

Для ШРА-1.

1 подгруппа: станки №№ 10, 11, 22-24, 25, 26, 27 – 30

$$P_{У} = 8 + 2,2 + 4 \cdot 3 + 4,5 \cdot 2 + 9 \cdot 4 = 67,2 \text{ кВт}$$

2 подгруппа: № 17, 18

$$P_{У} = 30 \cdot 2 = 60 \text{ кВт}$$

3 подгруппа: вентилятор №31

$$P_{У} = 5 \cdot 1 = 5 \text{ кВт}$$

Итого по ШРА–1

$$P_{У.ШРА1} = 67,2 + 60 + 5 = 132,5 \text{ кВт}$$

Для ШРА2 расчет аналогичен.

станки №№ 1,3,5, 9, 14,4,20,6,21, 12,13, 15,19,16

$$P_{У} = \sum P_{НОМ} \cdot n = 6 \cdot 5 + 10 \cdot 2 + 1,6 \cdot 2 + 3,2 + 8 + 5,5 \cdot 2 + 3 \cdot 2 = 78,4 \text{ кВт}$$

2 подгруппа: Электродвигатели повторно-кратковременного режима работы кранов для ПВ=60% установленная мощность по (2.2):

$$P_{\nu} = 2 \cdot 5 \cdot \sqrt{0,6} = 2 \cdot 3,87 = 7,74 \text{ кВт}$$

3 подгруппа: вентилятор №8

$$P_{У} = P_{НОМ} \cdot n = 5 \cdot 1 = 5 \text{ кВт}$$

Итого по ШРА2:

$$P_{У} = 91,14 \text{ кВт}$$

Средние нагрузки j-той подгруппы за максимально загруженную смену определяем по формулам:

$$P_{\text{ср.мах.}j} = K_{и} \cdot P_{\text{ном.}j}, \quad (5)$$

$$Q_{\text{ср.мах.}j} = P_{\text{ср.мах.}j} \cdot \text{tg} \varphi,$$

где  $\text{tg} \varphi$  соответствует  $\text{cos} \varphi$  данной группы электроприемников.

$K_{и}$  - коэффициент использования;

$P_{\text{ном.}j}$  - установленная мощность, кВт

1 подгруппа: станки №№ 10, 11, 22-24, 25, 26, 27 – 30

$$P_{\text{ср.мах.}} = 0,14 \cdot 67,2 = 9,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{ср.мах.}} = 9,4 \cdot 1,73 = 16,27 \text{ квар}$$

2 подгруппа: №17, 18

$$P_{\text{ср.мах.}} = 0,17 \cdot 60 = 10,2 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{ср.мах.}} = 10,2 \cdot 1,17 = 11,9 \text{ квар}$$

3 подгруппа: вентилятор №31

$$P_{\text{ср.мах.}} = 0,8 \cdot 5 = 4 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{ср.мах.}} = 4 \cdot 0,75 = 3 \text{ квар}$$

В итоговой строке определяются суммы этих величин

Итого по ШРА-1:

$$P_{\text{ср.см.мах.}\Sigma} = 9,4 + 10,2 + 4 = 23,6 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{ср.см.мах.}\Sigma} = 16,27 + 11,9 + 3 = 31,17 \text{ квар}$$

Расчет средних мощностей по ШРА2:

1 подгруппа:

$$P_{\text{ср.мах.}} = 0,14 \cdot 78,4 = 10,97 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{ср.мах.}} = 10,97 \cdot 1,73 = 19 \text{ квар}$$

2 подгруппа:

$$P_{\text{ср.мах.}} = 0,1 \cdot 7,74 = 0,774 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{ср.мах.}} = 0,774 \cdot 1,73 = 1,34 \text{ квар}$$

3 подгруппа:

$$P_{\text{ср.мах.}} = 0,8 \cdot 5 = 4 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{ср.мах.}} = 4 \cdot 0,75 = 3 \text{ квар}$$

Итого по ШРА-2:

$$P_{cp.c.m.max \Sigma} = 15,74 \text{ кВт}$$

$$Q_{cp.c.m.max \Sigma} = 23,32 \text{ квар}$$

Для заданного узла питания вычисляется коэффициент группового использования по следующему уравнению:

$$K_u = \frac{\sum P_{cp.max.j}}{\sum P_{ном}}, \quad (6)$$

по ШРА1

$$K_{u cp} = \frac{23,6}{132,5} = 0,178$$

по ШРА2

$$K_{u cp} = \frac{15,74}{91,14} = 0,172$$

Коэффициент модульной сборки для ШРА-1 определяем по выражению:

$$m = \frac{P_{НОМ.МАХ}}{P_{НОМ.МИН}}, \quad (7)$$

где  $P_{НОМ.МАХ}$  и  $P_{НОМ.МИН}$  – максимальная и минимальная мощности, кВт.

Самый мощный ШРА-1-пресс мощностью 30 кВт

Наименьшую мощность имеет заточный станок 2,2 кВт

Тогда:

$$m = \frac{30}{2,2} = 13,63 \geq 3,$$

Коэффициент модульной сборки для ШРА–2

$$m = \frac{10}{1,6} = 6,25 \geq 3,$$

Определяется эффективное число электроприемников  $n_{\text{э}}$  для ШРА–1 следующим образом: при  $n \geq 5$ ,  $m \geq 3$  и  $n_{\text{э}} = n_{\text{э}}^* \cdot n$  [1]. Всего электроприемников 14 шт.  $n_{\text{э}}^* = 0,85$ .

Получаем для ШРА–1  $n_{\text{э}} = 0,85 \cdot 14 = 12$ .

Определяется эффективное число электроприемников  $n_{\text{э}}$  для ШРА–2 следующим образом: при  $n \geq 5$ ,  $m \geq 3$  и  $n_{\text{э}} = n_{\text{э}}^* \cdot n$  [1]. Всего электроприемников 17 шт.  $n_{\text{э}}^* = 0,82$ .

Получаем  $n_{\text{э}} = 0,82 \cdot 17 = 14$ .

Определяем расчетный коэффициент ШРА–1 при  $n_{\text{э}} = 12$  и  $K_{u_{\text{ср}}} = 0,178$   
 $K_p = 1,3$

Расчетный коэффициент ШРА–2 при  $n_{\text{э}} = 14$  и  $K_{u_{\text{ср}}} = 0,172$   $K_p = 1,3$

Расчетная мощность узла питания определяется по выражению:

$$P_{\text{max}} = K_{\text{max}} \cdot P_{\text{ср. max}}, \quad (8)$$

где  $K_{P_x}$  - коэффициент максимума (расчетный коэффициент нагрузки).

$$Q_{\text{max}} = K'_{\text{max}} \cdot Q_{\text{ср. max}}, \quad (9)$$

$$S_{\text{max}} = \sqrt{P_{\text{MAX}}^2 + Q_{\text{MAX}}^2}, \quad (10)$$

Расчетная мощность любой группы ЭП не может быть меньше номинальной мощности наиболее мощного ЭП группы.

Определяем расчетные нагрузки для ШРА1:

$$P_p = 1,3 \cdot 23,6 = 30,68 \text{ кВт}$$

т.к.  $n_3 \geq 10$ , то,

$$Q_p = 1 \cdot 31,17 = 31,17 \text{ квар}$$

$$S_p = \sqrt{30,68^2 + 31,17^2} = 43,73 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Параметр токовой расчетной нагрузки, который используется для определения сечения линии по  $S_{\max}$ , вычисляется следующим образом:

$$I_{\max} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3} * U_{\text{ном}}}, \quad (11)$$

Расчетный ток ШРА1:

$$I_p = \frac{43,73}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 66,5 \text{ А}$$

Расчетные нагрузки для ШРА2:

$$P_p = 1,3 \cdot 23,6 = 20,46 \text{ кВт}$$

т.к.  $n_3 \geq 10$ , то,

$$Q_p = 1 \cdot 23,34 = 23,34 \text{ квар}$$

$$S_p = \sqrt{20,46^2 + 23,34^2} = 31 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Определяем ток на ШРА3:

$$I_p = \frac{31}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 47,2 \text{ А}$$

Чтобы определить общую нагрузку по производственному помещению, необходимо вычислить мощность осветительной сети этого цеха. Для этого мы воспользуемся методом удельной мощности.

Вначале выбираем для рабочего освещения лампы типа ДРИ.

Далее проводим расчёт нужного количества светильников в цехе.

Для характеристики визуальной деятельности необходима высокая степень точности. Класс – III. Подкласс – в. Стандартное значение общего уровня освещения равно  $E_n = 300$  лк.

Размер цеха  $A \times B \times H = 36 \times 24 \times 8$  м.

Площадь цеха  $A \times B = S = 36 \times 24 = 864$  м<sup>2</sup>

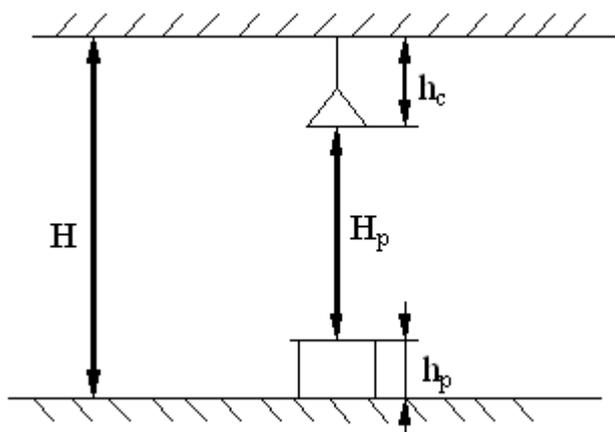


Рисунок 8 – Высота установки светильника

Расчетная высота  $H_p$  светильника:

$$H_p = H - (h_{pn} + h_{св}); \quad (12)$$

где  $H$  – высота цеха, м;

$h_{pn}$  – высота станка, 0,8 м;

$h_{св}$  – длина свеса светильника, 1,2 м.

$$H_p = 8 - (0,8 + 1,2) = 6 \text{ м.}$$

Удельная мощность освещения:

$$W_{УД} = P_{л} n / S, \quad (13)$$

где  $P_{л}$  – мощность одной лампы, Вт;

$n$  – число осветительных приборов;

$S$  – площадь освещаемой поверхности, м<sup>2</sup>

В справочных таблицах указано, что для освещения в условиях 100 лк на высоте 8 м значение  $W_{УД}$  составляет 2,4 Вт.

Идеальное расстояние между источниками света рассчитывается с помощью формулы:

$$\lambda_c \times H_p \leq L \leq H_p \times \lambda_э \quad (14)$$

где  $\lambda_c, \lambda_э$  – расстояния между источниками света;

$H_p$  – расчетная высота, м.

Определим расстояние между светильниками в ряду:

$$L_a = h_p \cdot \lambda = 6 \cdot 1 = 6 \text{ м.}$$

Число светильников в ряду

$$N' = (L_A - 2l_a) / L = (36 - 2 \cdot 0,5 \cdot 6) / 6 \div 6 + 1 \quad (15)$$

где  $l_a$  – расстояние светильников до стены.

$$N' = (36 - 2 \cdot 0,5 \cdot 6) / 6 + 1 = 6 \text{ свет.}$$

Принимаем 6 светильников.

Определяем количество рядов:

$$n = (L_B - 2l_b) / L = ((36 - 2 \cdot 0,5) \cdot 6) / 6 \div 6 + 1 \quad (16)$$

$$n = (24 - 2 \cdot 0,5 \cdot 6) / 6 + 1 = 4 \text{ ряда}$$

Расстояние  $l_b$

$$l_b = (24 - 6 \cdot (4 - 1)) / 2 = 3 \text{ м.}$$

Итого светильников в цехе

$$N = n \cdot N' = 4 \cdot 6 = 24 \text{ светильника.}$$

Мощность лампы по формуле (2.12):

$$P_{л} = 2,4 \cdot 3 \cdot 864 / 24 = 259,2 \text{ Вт}$$

Выбираем лампы мощностью 250 Вт.

Расчетная активная мощность освещения:

$$P_{p,o} = P_{уст} \cdot K_c \cdot K_{ПРА} \quad (17)$$

где  $K_c$  – коэффициент спроса.

$K_{ПРА}$ , – коэффициент, учитывающий потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре.

$$P_{p,o} = (24 \cdot 250) \cdot 0,95 \cdot 1,1 = 6270 \text{ Вт}$$

Полная мощность с учетом силовой и осветительной нагрузки:

$$S_{\max} = \sqrt{(P_{PC} + P_{PO})^2 + (Q_{PC} + Q_{PO})^2}, \quad (18)$$

Результаты расчетов заносим в таблицу 7

Таблица 7 – Расчет нагрузок

Наименование РУ и электроприёмников	Нагрузка установленная						Нагрузка средняя за смену		m	n <sub>э</sub>	K <sub>p</sub>	Максимальная нагрузка			
	P <sub>н</sub> , кВт	n	P <sub>нΣ</sub> , кВт	K <sub>и</sub>	cos φ	tg φ	P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , квар				P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , квар	S <sub>p</sub> , кВт·А	I <sub>p</sub> , А
ШРА-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Металлорежущие станки	2,2-9	11	67.2	0,14	0,5	1,73	9.4	16.27	-	-	-	-	-	-	-
Прессы	30,0	2	60	0,17	0,65	1,17	10,2	11,9	-	-	-	-	-	-	-
Вентилятор	5,0	1	5,0	0,8	0,8	0,75	4	3	-	-	-	-	-	-	-
Всего на ШРА-1	-	14	132.5	0,178	0,6	1,32	23,6	31.17	>3	12	1,3	30.68	31.17	43.73	66,5
ШРА-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Кран - балки	5/3,87	2	7,74	0,1	0,5	1,73	0,774	1,34	-	-	-	-	-	-	-
Металлорежущие станки	1,6-10	14	78,4	0,14	0,5	1,73	10,97	19,0	-	-	-	-	-	-	-
Вентилятор	5,0	1	5,0	0,8	0,8	0,75	4	3	-	-	-	-	-	-	-
Всего на ШРА-2	-	17	91,14	0,172	0,56	1,48	15,74	23,34	>3	14	1,3	20,46	23,34	31,0	47,2
Освещение	-	-	-	-	0,96	0,29	-	-	-	-	-	6,27	1,8	-	-
Всего на ШМА	-	31	-	-	0,71	0,98	-	-	-	-	-	57,4	56,31	80,4	122,3

### 2.1.4 Расчет нагрузки по предприятию в целом

Категорийность цехов по надежности электроснабжения представлена в таблице 1. Электрические нагрузки остальных цехов механосборочного предприятия - в таблице 8.

Таблица 8 – Электрические нагрузки остальных цехов

Наименование цехов	Установленная мощность, кВт
Административный корпус и проходная	125
Инструментальный цех	260
Сборочный корпус	240
Корпус металлообработки	190
Электроцех	165
Цех ремонтно- механический	175

Расчет электрических нагрузок остальных подразделений осуществляем через коэффициент спроса:

$$P_p = K_c \cdot P_{ном}, \quad (19)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (20)$$

где  $K_c$  - коэффициент спроса.

Сведем результаты расчета в таблицу 9.

Таблица 9 – Расчет электрических нагрузок остальных цехов

Наименование потребителей	Силовая нагрузка					
	$P_y$ кВт	$K_c$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_p$ кВт	$Q_p$ квар	$S_p$ кВА
Административный корпус и проходная	125	0,7	0,48	87,5	42	97
Инструментальный цех	260	0,7	0,48	182	87,36	201,8
Сборочный корпус	240	0,7	0,75	168	126	210
Корпус металлообработки	190	0,7	0,75	133	99,75	166,25
Электроцех	165	0,7	0,75	115,5	86,6	144,3
Цех ремонтно-механический	175	0,65	0,62	113,75	70,5	133,8
Итого			0,64	799,75	512,21	949,5

## 2.2 Определение центра электрических нагрузок предприятия. Анализ электрических нагрузок, определение мощности силовых трансформаторов

Количество трансформаторов на подстанции определяется в зависимости от потребностей в надежности электроснабжения производственных устройств, а также от минимизации суммарных затрат на трансформаторы с учетом прогнозируемого увеличения электрических нагрузок.

В таблице 10 представлены мощности с учетом мощности механического цеха предприятия.

Таблица 10 – Расчет электрических нагрузок предприятия

Параметр	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	кВт	квар	кВ·А
Механический цех	0,713	0,98	57,4	56,31	80,4
Остальные цехи	0,84	0,64	799,75	512,21	949,5
Всего по предприятию	0,83	0,66	857,15	568,52	1 028,5

С учетом требований взаимного резервирования, целесообразно проектировать подстанции с двумя трансформаторами. Используем сухие трансформаторы модели ТСЗН.

Номинальная мощность трансформаторов  $S_{ном.т}$  рассчитывается по выражению:

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{max}}{K_3 \cdot N_{онт}}, \text{ кВА} \quad (21)$$

где  $S_{max}$  - полная расчетная мощность, кВА;

$S_{ном.т}$  - номинальная мощность трансформатора, кВА;

$N$  - количество трансформаторов.

$K_3$  - коэффициент загрузки трансформаторов цеховой трансформаторной подстанции

Для сухого трансформатора коэффициент загрузки принимаем равным 0,5-0,65.

$$S_{ном.т} \geq \frac{1028,5}{2 \cdot 0,6} = 857 \text{ кВА}$$

Вводим в эксплуатацию два трансформатора ТСЗН-1000/10, каждый из которых обладает мощностью 1000 кВА.

Нагрузка на высоковольтной стороне рассчитывается с учетом характеристик КРМ и потерь энергии в трансформаторах.

Расчёт мощности КУ осуществляется по формуле.:

$$Q_{к.р.} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg\varphi - tg\varphi_k), \quad (22)$$

где  $\alpha = 0,9$ ;

$tg\varphi$  - показатель реактивной мощности до компенсации;

$tg\varphi_k$  - показатель реактивной мощности после компенсации.

Результирующее значение коэффициента мощности  $tg\varphi = 0,98$ .

$$Q_{к.р.} = 0,9 \cdot 857,15 \cdot (0,66 - 0,33) = 254,5 \text{ квар}$$

Выбираем две установки АУКРМ-0,4-150-УХЛ4 150 квар.

Таблица 11– Сводная таблица нагрузок

Параметр	$\cos \varphi$	$tg\varphi$	кВт	квар	кВ·А
Итого на шинах НН без КУ	0,83	0,66	857,15	568,52	1 028,5
КУ	-	-	-	300	-
Итого на шинах НН с КУ	-	-	857,15	268,52	898,2
Потери	-	-	17,96	89,82	-
Итого	0,925	0,4	875,11	358,34	946,0

$S_{\max}$  рассчитываем с учетом компенсации:

$$S_{\max} = \sqrt{P_{\max}^2 + (Q_{\max} - Q_{\text{кв}})^2} \quad (23)$$

$$S_{\max} = \sqrt{857,15^2 + (568,52 - 300)^2} = 898 \text{ кВА}$$

Потери в трансформаторе определяем по выражениям:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{P.HH} \quad (24)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{P.HH} \quad (25)$$

После проведения компенсации расчетная мощность трансформатора станет равной:

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{946}{2 \cdot 0,6} = 788 \text{ кВА}$$

Устанавливаем в трансформаторной подстанции два трансформатора ТСЗН-800/10, каждый из которых обладает мощностью 800 кВА (рис. 9).



Рисунок 9 – Трансформатор ТСЗН-800/10 мощностью 800 кВА

Фактический коэффициент загрузки после внесения корректировок и с учетом убытков в трансформаторе:

$$K_3 = \frac{S_{p.max}}{N \cdot S_{ном.т}} \quad (26)$$

где  $S_{p.max}$  - полная расчетная мощность, кВА;

$S_{ном.т}$  - номинальная мощность трансформатора, кВА;

$N$  - количество трансформаторов.

$$K_3 = \frac{946}{1600} = 0,59$$

Генплан группы цехов механосборочного предприятия изображен на рисунке 10.

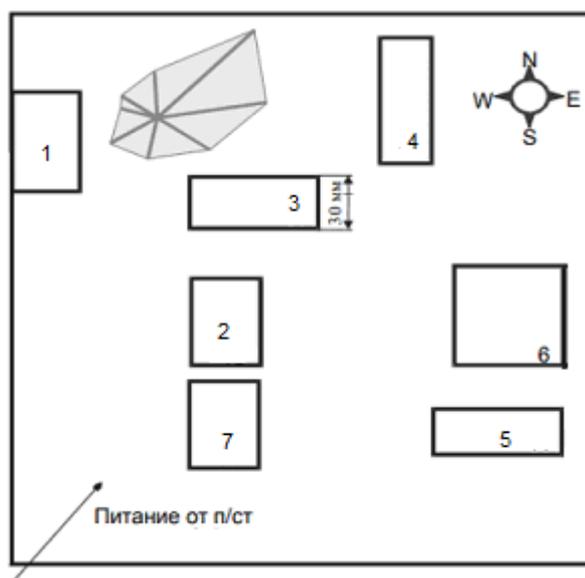


Рисунок 10 – Генплан группы цехов механосборочного предприятия

Рассчитываем центр электрических нагрузок по формулам:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n S_{pi} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n S_{pi}} ; \quad (27)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n S_{pi} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n S_{pi}} , \quad (28)$$

где  $S_{pi}$  - полная мощность электроприемников, кВА

$x_i; y_i$  - координаты электроприемников, м

Результаты расчетов сведем в таблицу 12

Таблица 12 – Расчет координат центра электрических нагрузок

№ цеха	Расчетная нагрузка цеха $P_i$ , кВт	Координаты цеха		$P_i \cdot X_i$	$P_i \cdot Y_i$	$X_o$	$Y_o$
		$X_i$ , мм	$Y_i$ , мм				
1	87,5	05	55	437,5	4 812,5	24,5	27,4
2	182	20	21	3 640	3 822		
3	168	20	36	3 360	6 048		
4	133	20	25	2 660	3 325		
5	115,5	60	18	6 930	2 079		
6	113,75	25	21	2 843,75	2 388,75		
7	57,4	20	18	1 148	1 033,2		
Сумма	857,15	-	-	21 019,25	23 508,45		

## 2.3 Расчет токов КЗ

### 2.3.1 Расчет токов короткого замыкания в цеховой сети НН

Выберем линию, проходящую от подстанции ПС10/35/10 до трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ.

Ток в линии 10 кВ равен:

$$I_p = \frac{946}{\sqrt{3} \cdot 10} = 54,68 \text{ A}$$

Кабель проложен в траншее, значит ток увеличится и станет равным:

$$I_p' = \frac{54,68}{0,9} = 60,75 \text{ A}$$

Экономически выгодное сечение кабеля:

$$S_{\text{эк.}} = 57,68 / 2 = 27,3 \text{ мм}^2$$

«Уровень надёжности оказываемых услуг определяется средней продолжительностью прекращения передачи электрической энергии потребителям услуг сетевой организации (SAIDI) и средней частотой прекращения передачи электрической энергии потребителями услуг сетевой организации в течение расчётного периода регулирования (SAIFI)»

Выбираем кабель ПвПУ -3х35/16 -10.

Реактивное индуктивное сопротивление кабеля 0.109 Ом/км

Активное сопротивление кабеля 0.668 Ом/км

Здание подстанции цеха расположено на расстоянии 1 км от понизительной подстанции ПС110 кВ. Выберем ближайший маломощный электроприемник. Расчет трехфазного КЗ ведем для ближайшего электроприемника. Это № 1. Расчетная схема представлена на рисунке 11.

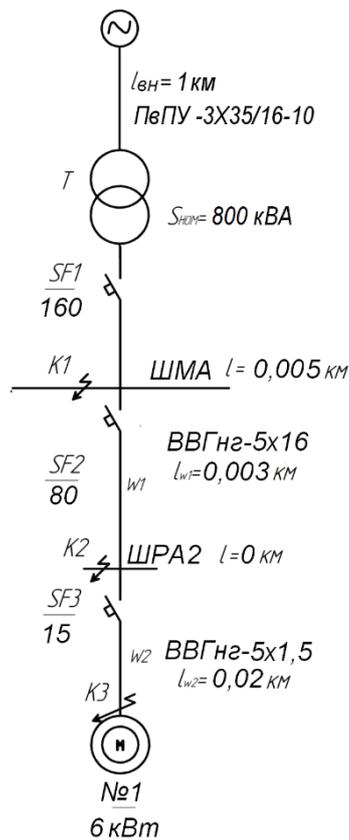


Рисунок 11 – Расчетная схема

Сопротивления кабеля 10 кВ 0,4 кВ:

$$r_c = r_0 \cdot l_K \quad (29)$$

где  $r_0$  - удельные активные сопротивления кабелей, мОм/м;

$l$  - длина кабеля, м.

$$x_c = x_0 \cdot l_K \quad (30)$$

где  $x_0$  - удельные индуктивные сопротивления кабелей, мОм/м;

$l$  - длина кабеля, м.

Сопротивления кабеля 10 кВ, приведенное к стороне 0,4 кВ:

$$r_c = 0,668 \cdot 1,0 \cdot 0,0016 = 1,06 \text{ мОм}$$

$$x_c = 0,109 \cdot 1,0 \cdot 0,0016 = 0,17 \text{ мОм}$$

Сопротивления трансформатора 800-10/0,4 кВ по справочнику:

$$r_{T1} = 5,5 \text{ мОм};$$

$$x_T = 17,0 \text{ мОм}.$$

Определяем активное и индуктивное сопротивление магистрального шинпровода ШМА,  $l = 5$  м:

$$R_{ШМА} = R_0 \cdot l = 0,05 \cdot 5 = 0,25 \text{ мОм};$$

$$X_{ШМА} = X_0 \cdot l = 0,05 \cdot 5 = 0,25 \text{ мОм}.$$

Активное и индуктивное сопротивление радиального шинпровода ШРА2, при длине  $l = 0$  м равно 0.

Автоматический выключатель на стороне низкого напряжения трансформатора не учитываем, т.к. сопротивление автомата с номинальным током 1600 А равно нулю.

Определяем сопротивления выключателей:

$$r_{SF1} = 1,3 \text{ мОм};$$

$$r_{SF2} = 3,5 \text{ мОм};$$

$$r_{SF3} = 7,0 \text{ мОм}.$$

Сопротивления первичных обмоток многовитковых трансформаторов тока 1500/5:

$$R_{ТА} = 0,42 \text{ мОм};$$

$$X_{ТА} = 0,67 \text{ мОм}.$$

Нанесем величины сопротивлений на схему замещения (рис. 12).

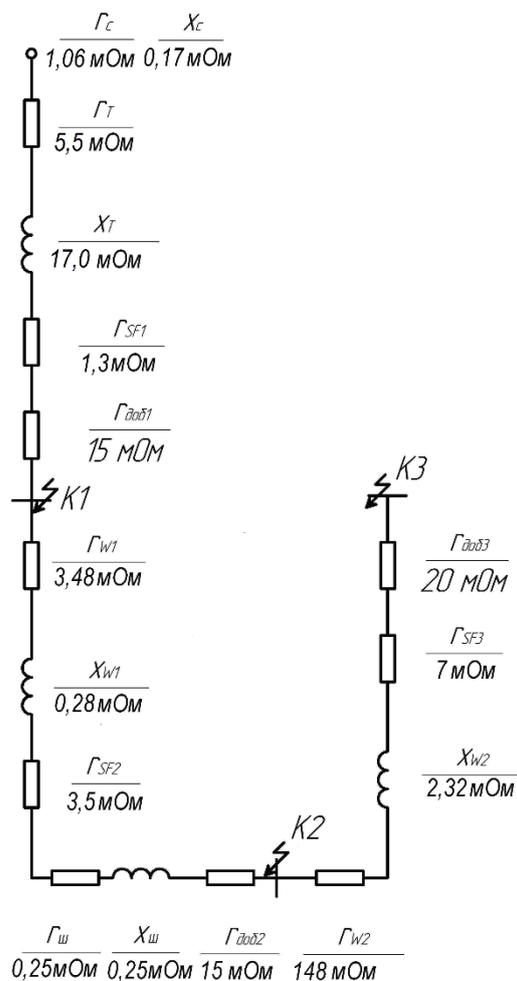


Рисунок 12 – Схема замещения

Активное сопротивление до точек К3 равно:

$$r_{\Sigma K1} = r_C + r_T + r_{SF1} + r_{ШМА} + r_{ТА} + r_{доб1} = 1,06 + 5,5 + 1,05 + 1,3 + 0,25 + 15 = 24,06 \text{ M}\Omega$$

$$r_{\Sigma K2} = r_{K1} + r_{w1} + r_{SF2} + r_{доб1} = 24,06 + 3,48 + 1,05 = 28,59 \text{ M}\Omega;$$

$$r_{\Sigma K3} = r_{K2} + r_{w2} + r_{SF3} + r_{доб3} = 13,59 + 148 + 7 + 20 = 188,6 \text{ M}\Omega$$

Реактивное сопротивление до указанных точек К3 составит:

$$x_{\Sigma K1} = x_C + x_T + x_{ТА} + x_{ШМА} = 0,17 + 17 + 0,67 + 0,25 = 18,1 \text{ M}\Omega ;$$

$$x_{\Sigma K2} = x_C + x_T + x_{w1} = 18,1 + 0,28 = 18,38 \text{ M}\Omega ;$$

$$x_{\Sigma K3} = x_C + x_T + x_{w1} + x_{w2} = 18,38 + 2,32 = 20,7 \text{ МОм}$$

Ток трехфазного короткого замыкания в исследуемых точках:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}}, \quad (31)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{24,06^2 + 18,1^2}} = 7,68 \text{ кА};$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{28,59^2 + 18,38^2}} = 6,802 \text{ кА};$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{188,6^2 + 20,7^2}} = 1,218 \text{ кА}.$$

Ударный ток короткого замыкания находим по выражению:

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_K^{(3)}, \quad (32)$$

где  $K_y$  - ударный коэффициент

$$i_{yK1} = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,68 = 10,85 \text{ кА};$$

$$i_{yK2} = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 6,802 = 9,6 \text{ кА};$$

$$i_{yK3} = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,218 = 1,72 \text{ кА}.$$

Результаты расчета сводим в таблицу 13.

Таблица 13 – Сводная ведомость токов К.З.

№ точки	$x_{\Sigma}$ , мОм	$R_{доб}$ , мОм	$r_{\Sigma}$ , мОм	$r_{\Sigma}/X_{\Sigma}$	$K_y$	$I^{(3)}_к$ , кА	$i^{(3)}_у$ , кА
1	18,1	15	24,06	0,95	1	7,68	10,85
2	18,38	15	28,59	1,03	1	6,802	9,6
3	20,7	20	188,6	3,5	1	1,218	1,72

Ток однофазного КЗ рассчитывается для проверки срабатывания автомата при коротких замыканиях. Расчет ведем для самого удаленного и самого мощного электроприемника. Это обрабатывающий центр с ПУ Kitamura-300 №17.

Схема замещения представлена на рисунке 13.

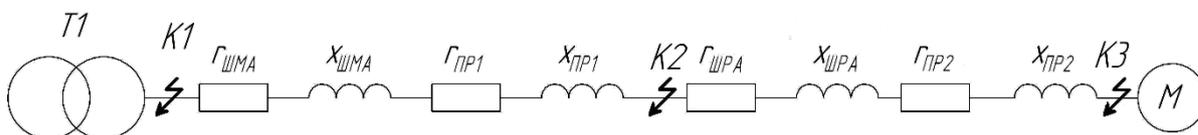


Рисунок 13 – Схема замещения для расчета тока однофазного КЗ

Ток однофазного К.З. произведем в точке К3:

$$I_K^{(1)} = \frac{U_{ном.ф.} \cdot 10^3}{z_{\Pi} + \frac{z_T^{(1)}}{3}}, \quad (33)$$

где  $U_{ном.ф.}$  - номинальные фазное напряжения сети, кВ;

$z_{\Pi} = \sqrt{r_{\Pi}^2 + x_{\Pi}^2}$  - полное сопротивление петли фаза-нуль, мОм;

$z_T^{(1)}$  - полное сопротивление трансформатора при однофазном КЗ,

мОм.

Рассчитываем сопротивления шинпровода ШМА:

$$r_{ШМА1} = r_0 \cdot l = 0,05 \cdot 3 = 0,15 \text{ мОм}$$

$$x_{ШМА1} = x_0 \cdot l = 0,05 \cdot 3 = 0,15 \text{ мОм},$$

Рассчитываем сопротивления шинпровода ШРА1:

$$r_{ШРА1} = r_0 \cdot l = 0,05 \cdot 6 = 0,3 \text{ мОм}$$

$$x_{ШРА1} = x_0 \cdot l = 0,05 \cdot 6 = 0,3 \text{ мОм} ,$$

Рассчитываем сопротивления кабеля и нулевой жилы сечением 16 мм<sup>2</sup>

$$r_{ПП1} = r_0 \cdot l = 0,16 \cdot 30 = 4,8 \text{ мОм}$$

$$x_{ПП1} = x_0 \cdot l = 0,095 \cdot 30 = 2,85 \text{ мОм} ,$$

$$r_{ПП1} = r_0 \cdot l = 0,16 \cdot 30 = 4,8 \text{ мОм}$$

$$x_{ПП1} = x_0 \cdot l = 0,095 \cdot 30 = 2,85 \text{ мОм} ,$$

Тоже, сечением 10 мм<sup>2</sup>:

$$r_{ПП2} = r_0 \cdot l = 1,84 \cdot 16 = 29,44 \text{ мОм}$$

$$x_{ПП2} = x_0 \cdot l = 0,09 \cdot 16 = 1,44 \text{ мОм}$$

$$r_{ПП2} = r_0 \cdot l = 1,84 \cdot 16 = 29,44 \text{ мОм}$$

$$x_{ПП2} = x_0 \cdot l = 0,09 \cdot 16 = 1,44 \text{ мОм}$$

Сопротивление до точки К3:

$$r_{\Sigma} = r_{ШМА} + 2r_{ПП1} + 2r_{ПП2} = 0,15 + 4,8 + 4,8 + 29,44 + 29,44 = 68,63 \text{ мОм} ,$$

$$x_{\Sigma} = x_{ШМА1} + x_{ПП1} + x_{ПП1(0)} = 0,15 + 2,85 + 2,85 + 1,44 + 1,44 = 8,75 \text{ мОм}$$

$$z_{\Sigma1} = \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2} = \sqrt{68,63^2 + 8,75^2} = 69,2 \text{ мОм}$$

Ток однофазного КЗ в точке К3 составит:

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{z_{\Sigma} + \frac{z'_T}{3}} = \frac{0,230 \cdot 10^3}{69,2 + 27/3} = 2,941 \text{ кА.}$$

Проверка тока, при котором срабатывает расцепитель для отключения при однофазном коротком замыкании:

для сетей, находящихся в помещениях, которые не представляют опасности взрывов или пожаров:

$$I_{\kappa}^{(1)} \geq 3I_{\text{сраб.}}; \quad (34)$$

- для автомата, обладающего исключительно электромагнитным расцепителем:

$$I_{\kappa}^{(1)} \geq 1,1I_{\text{сраб.}} \quad (35)$$

Отключающая способность выключателя:

$$I_{\kappa}^{(3)} < i_y^{(3)}, \quad (36)$$

где  $I_{\text{откл.}}$  - предельный ток, отключаемый автоматическим выключателем;

$I_{\kappa}^{(3)}$  - ток трехфазного короткого замыкания.

Динамическая стойкость к токам трехфазного короткого замыкания:

$$i_{\text{дин}} > i_y^{(3)}, \quad (37)$$

где  $i_{\text{дин.}}$  - ток электродинамической стойкости;

$i_y^{(3)}$  - ударный ток трехфазного короткого замыкания.

Проверяем автоматические выключатели SF1-SF3:

SF1 NW16 рассчитан на ток 160 А

Номинальная предельная отключающая способность составляет 32 кА > 7,68 кА

Ток динамической стойкости равен 40 кА > 10,85 кА

SF2 NZMB1-4A-80 предназначен для тока 80 А

Номинальная предельная отключающая способность — 25 кА > 6,8 кА

Ток динамической стойкости составляет 36 кА > 9,6 кА

SF3 NZMB1-4A-16 с рабочим током 16 А

Номинальная предельная отключающая способность составляет 25 кА > 1,218 кА

Ток динамической стойкости равен 25 кА > 1,72 кА

Проверяем выключатель прессы NZMB1-4A-63 для тока 63 А на срабатывание при однофазном замыкании.

Настройка электромагнитного расцепителя 500 А < 2941 А.

Это свидетельствует о том, что автомат сработает при однофазном коротком замыкании.

### **2.3.2 Расчет токов короткого замыкания в сети напряжением выше 1000 В**

В данной части проводится расчет токов трёхфазного короткого замыкания для проверки высоковольтных аппаратов и расчета уставок релейной защиты.

КТП-10/0,4 кВ запитана от ПС110. Рабочее напряжение 110/10 кВ.

Установленная мощность трансформаторов ПС110 50 МВА. Питание ПС110 осуществляется от двух систем. Сведения по системе указаны в таблице 14.

Таблица 14 -Исходные данные

Трансформаторы	Марка трансформатора	Мощность КЗ $u_K, \%$		Мощность и ток КЗ МВА/ кА		Длина питающей линии	Время срабатывания защиты	
		Мин	Макс					
Т1	ТРДН-25000/115/10,5	9,8	11,71	С1	1100/800	50	30	1,5
							25	2,5
Т2	ТРДН-25000/115/10,5	9,8	11,71	С2	4,8/4	40	45	1,0

Исходной схемой является принципиальная однолинейная схема предприятия.

На рисунке 14 изображена расчетная схема.

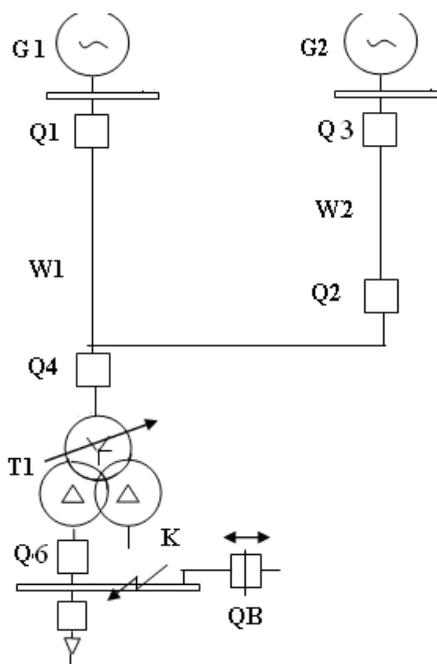


Рисунок 14 – Расчетная схема для определения токов КЗ

Разрабатываем схему замещения (рис. 15).

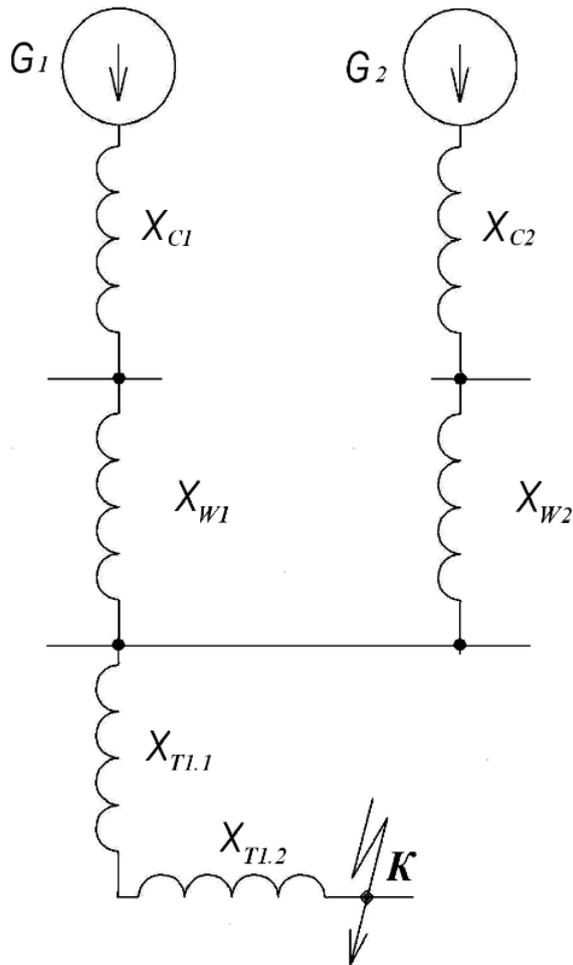


Рисунок 15– Схема замещения.

Принимаем для расчета величину среднего напряжения 115 кВ и 10,5 кВ.

Для системы С1 величина сопротивления в минимальном и максимальном режиме работы составит:

$$X_{C1\max} \cong \frac{U_{CP}^2}{S_{G1\max}} \quad (38)$$

$$X_{C1\max} = \frac{115^2}{1100} = 12 \text{ (Ом)}$$

$$X_{C1\min} \cong \frac{U_{CP}^2}{S_{G1\min}} \quad (2.38)$$

$$X_{C1min} = \frac{115^2}{800} = 16,5 \text{ (Ом)}.$$

Для системы С2 величина сопротивления равна:

$$X_{C2max} = \frac{U_{cp} / \sqrt{3}}{I_{Kmax}} ; \quad (39)$$

$$X_{C2max} = \frac{115 / \sqrt{3}}{4,8} = 13,8 \text{ Ом}$$

$$X_{C2min} = \frac{U_{cp} / \sqrt{3}}{I_{Kmin}} \quad (40)$$

$$X_{C2min} = \frac{115 / \sqrt{3}}{4} = 16,6 \text{ Ом}$$

Величина сопротивления линии W1 110 кВ:

$$XW1 = 0,4 \cdot 50 = 20,0 \text{ (Ом)}.$$

Величина сопротивления линии W2 110 кВ:

$$XW2 = 0,4 \cdot 40 = 16 \text{ (Ом)}.$$

Величина сопротивления трансформатора с учетом расщепления [19]:

$$x_{T1min} = \frac{u_{K,min} \%}{100} \cdot \left(1 - \frac{K_P}{4}\right) \cdot \frac{U_{min}^2}{S_{H,T}}, \quad (41)$$

$$x_{T2min} = \frac{u_{K,min} \%}{100} \cdot \frac{K_P}{2} \cdot \frac{U_{min}^2}{S_{H,T}}, \quad (42)$$

$$X_{Tmax} = \frac{U_{Kmax} \% \cdot U_{maxBH}^2}{100 \cdot S_{HT1}} \cdot \left(1 - \frac{K_P}{4}\right) = \frac{U_{Kmax} \% \cdot [U_{CPBH} \cdot (1 + \Delta U_{*PH})]^2}{100 \cdot S_{HT1}} \quad (43)$$

$$x_{T2\max} = \frac{u_{K,\max} \%}{100} \cdot \frac{K_P}{2} \cdot \frac{U_{\max}^2}{S_{H,T}}, \quad (44)$$

Результаты расчета:

$$x_{T1\min} = \frac{9,8}{100} * \left(1 - \frac{3,25}{4}\right) * \frac{96,6^2}{25} = 7 \text{ Ом};$$

$$x_{T2\min} = \frac{9,8}{100} * \frac{3,25}{2} * \frac{96,6^2}{25} = 54,7 \text{ Ом.}$$

$$x_{T1\max} = \frac{11,71}{100} * \left(1 - \frac{3,25}{4}\right) * \frac{126^2}{25} = 13,5 \text{ Ом};$$

$$x_{T2\max} = \frac{11,71}{100} * \frac{3,25}{2} * \frac{126^2}{25} = 120 \text{ Ом.}$$

Эквивалентное сопротивление:

$$X_{C\max} = \frac{(X_{C1} + X_{W1}) \cdot (X_{C2} + X_{W2})}{X_{C1} + X_{W1} + X_{C2} + X_{W2}} = \frac{(12 + 20) \cdot (13,8 + 16)}{12 + 20 + 13,9 + 16} = 15,4 \text{ Ом}$$

Максимальный ток КЗ в точке К с учетом сопротивления трансформатора [19] определяется по формуле:

$$I_{K\max.BH}^{(3)} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot (X_{C\max} + X_{T1.1\min} + X_{T1.2\min})} \quad (45)$$

где  $U_{НОМ}$  – номинальное напряжение высокой стороны, 110 кВ;

$X_C$  – сопротивление системы в максимальном режиме ее работы, Ом.

$$I_{K \max .BH}^{(3)} = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot (15,4 + 7 + 54,7)} = 0,824 \text{ кА}$$

На стороне 10 кВ этот ток равен:

$$I_{K \max .HH}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.вн}} (1 - \Delta U * p_{\text{нн}})}{U_{\text{HH}}} I_{K \max BH}^{(3)}, \quad (46)$$

где  $U_{\text{ср.вн}} = 10,5$  кВ.

$$I_{K \max .HH}^{(3)} = \frac{115 \cdot (1 - 0,16)}{10} \cdot 0,824 = 7,963 \text{ кА},$$

Минимальный ток КЗ в точке К находим как [19]:

$$I_{K \min .BH}^{(3)} = \frac{U_{\max BH}}{\sqrt{3} \cdot (X_{C2} + X_{W2} + X_{T2_{\max}})} \quad (47)$$

где – максимальное напряжение высокой стороны, 126 кВ[19];

$X_C$ –сопротивление системы в минимальном режиме ее работы.

$$I_{K \min .BH}^{(3)} = \frac{126}{\sqrt{3} \cdot (16,6 + 16 + 13,5 + 120)} = 0,438 \text{ кА}$$

На стороне 10 кВ этот ток равен:

$$I_{K \min .HH}^{(3)} = I_{K \min BH}^{(3)} \frac{U_{\max BH}}{U_{\text{HH}}} \quad (48)$$

$$I_{K \min .BH}^{(3)} = \frac{126}{10,0} \cdot 0,438 = 5,525 \text{ кА}$$

Ударный ток на стороне 10 кВ:

$$i_y = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,963 = 20,26 \text{ кА}.$$

Тепловой импульс на стороне 10 кВ [17,19]:

$$B_k = I_n^2 \cdot t_{отк}, \quad (49)$$

где  $t_{отк}$  – время, состоящее из времени отключения выключателя и времени срабатывания релейной защиты,  $t_{отк} = 0,75$  с.

$$B_k = 7,963^2 \cdot 0,75 = 47,55 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

## 2.4 Выбор электрооборудования

### 2.4.1 Выбор комплектных шинопроводов

Расчетный ток кран-балки:

$$I_{НОМ.} = 15 \text{ А}$$

Выбираем троллей серии PRODUCTOR16 на ток 16 А.

Расчетный ток ШМА равен 122,3А. В качестве ШМА применяем шинопровод ISOLSBARRA номинальным током 250 А.

В качестве ШРА-1 и ШРА-2 выбираем шинопровод GDA на ток 80 А.

Шинопроводы проверяются на термическую стойкость после расчета токов короткого замыкания.

Потеря напряжения на ШРА-1:

$$\begin{aligned} \Delta U'_{шра} &= \frac{\sqrt{3} \cdot I_{рз} \cdot L_{шра} \cdot (R_{0шра} \cdot \cos \varphi + X_{0шра} \cdot \sin \varphi)}{U_{л}} \cdot 100 \% = \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 66,5 \cdot 0,009 \cdot (0,05 \cdot 0,6 + 0,05 \cdot 0,8)}{380} \cdot 100 \% = 0,02 \% \end{aligned} \quad (50)$$

где:  $I_{рз} = 66,5$  А - расчетный ток ШРА-1;

$L_{шра}$  – длина ШРА-1;

$R_{0шра}$ ,  $X_{0шра}$  – удельные активное и индуктивное сопротивление GDA.

## 2.4.2 Выбор аппаратов защиты цеховой сети

Пиковый ток группы двигателей:

$$I_{\text{ПИК}} = I_{n.\text{max}} + (I_p - k_{u.a} \cdot I_{\text{НОМ. max}}), \quad (51)$$

где  $I_{n.\text{max}} = K_{\text{П}} \cdot I_{\text{НОМ.}}$  - максимальные пусковые токи для моторов в группе потребителей, А;

$K_{\text{П}}$  - коэффициент пуска,

$I_p$  - расчетный ток, А;

$k_{u.a}$  - коэффициент использования;

$I_{\text{НОМ. max}}$  - номинальная величина тока двигателя, которая соответствует максимальному значению пускового тока.

Выберем аппараты для электроприемников ШРА-1.

Обрабатывающий центр с ПУ Kitamura-300 30 кВт имеет номинальный ток в соответствии с таблицей 2.1:

$$I_{\text{НОМ}} = 57 \text{ А.}$$

Выбранные шинопроводы комплектуются отводными коробками PREFITTED FOR MCB с автоматическими выключателями NZMB1-4А. Существуют два различных типа расцепителей для автоматических выключателей NZM, пример на рисунке 16.

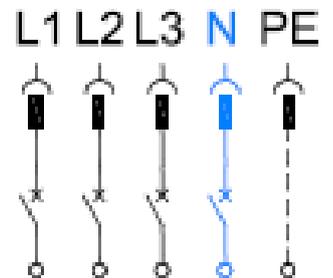


Рисунок 16 – Автоматические выключатели NZMB1-4A

Выбираем автоматический выключатель типа NZMB1-4A-63  $I_{н.а.} = 63A$ ,  
 $I_{э.р.} = 500 A$  – ток электромагнитного расцепителя.

Пусковой ток  $I_{пуск.} = 399A$

Выполняем проверку:

$$I_{кр} = 1,25 \cdot 399 = 498,75A$$

$$498,75A < 500 A$$

Выбираем автомат NZMB1-4A-80.

Пиковый ток по току Kitamura-300:

$$I_{пик} = 399 + (66,5 - 0,17 \cdot 57) = 455,8A. A.$$

Проверяем селективность:

$$1,25 \cdot 455,8 < 630 A$$

Аналогично выбираем аппараты для остальных электроприемников.

Электроприемники для ШРА-2

Критический ток кран-балки:

$$I_{кр} = 44,5 + 15 \cdot 0,1 \cdot 9,5 = 58,55 \text{ A}$$

$$I_{э.р.} = 1,25 \cdot 58,55 = 73,2 \text{ A}$$

Для защиты линий, идущей к кран-балке, выбираем автомат NZMB1-4A-16.

Проверяем селективность:

$$73,2 \text{ A} < 120 \text{ A}$$

Для ШРА-2 выбираем автомат NZMB1-4A-50.

Наибольший пусковой ток у электроприемников №4 (20)

Пиковый ток группы двигателей определяем по току ножниц. Тогда критический ток ШРА-2:

$$I_{пик} = 120 + (47,2 - 0,17 \cdot 22,2) = 194,3 \text{ A.}$$

Выполняем проверку:

$$1,25 \cdot 194,3 < 500 \text{ A}$$

Пусковые токи для электроприемников берем из таблицы 5.

Для наглядности выбор аппаратов и кабелей сведем в одну таблицу 15.

### 2.4.3 Выбор сечений питающей сети цеха

Сечение проводов по термической стойкости:

$$I_{н.доп} \geq I_p, \quad (52)$$

где  $I_{доп}$  - допустимый длительный ток.

$I_p$  - расчетный ток линии, А.

Согласно требованиям соответствия с выбранным устройством максимальной токовой защиты и условиям прокладки кабеля:

$$I_{доп} \geq K3I3 / K_{прокл} \quad (53)$$

где  $K_{прокл}$  - Коэффициент для условий укладки проводов и кабелей;

$K3$  — это коэффициент защиты, который является отношением максимально допустимого тока кабеля к его номинальному значению или току, при котором срабатывает защитное устройство.

Для подключения троллея крана к ШРА-2 выбираем кабель ВВГнг-LS-5х2,5.

Согласуем с устройством защиты электрического проводника:  $28A > 16A$

Для подключения токарного станка GDW-LS250 с номинальным током.  $I_{ном} = 20A$ . выбираем кабель ВВГнг-LS-5х2,5 с допустимым током  $I_{д} = 28A$ .

Согласуем ток автомата с длительно допустимым током питающего кабеля:

$$28A > 25A$$

Для подключения ШРА-1 к ШМА выбираем кабель ВВГнг-LS-5х16 с допустимым током  $I_{д} = 87A$ .

Согласуем ток автомата с длительно допустимым током питающего кабеля:

$$87A > 80A$$

Результаты всех расчетов сводим в таблицу 15.

Таблица 15 – Проектирование схемы электроснабжения

Узел питания	Защита	Тип автоматического выключателя	Токи расцепителей			Электроприемник, № на плане (рисунок 7)	Активная мощность, кВт	Пусковой ток, А	Критический ток, А	Расчетный ток, А
			Уставки расцепителя, А		Длительно допустимый ток					
			Ном, А	Теплового						
Линия	Длина, м	Тип проводника								
Трансформатор	Защита	NW160	160	500	1000	ШМА			583,6	122,3
	Линия	–	–		–					
ШМА	Защита	NZMB1-4A-80	80	156,2	630	ШРА-1			455,8	66,5
	Линия	30	ВВГнг-LS (5x16)		87					
ШМА	Защита	NZMB1-4A-50	50	62,5	500	ШРА-2			194,3	47,2
	Линия	15	ВВГнг-LS (5x10)		66					
ШРА1	Защита	NZMB1-4A-12	12	15	150	№31	5	60,8		10,3
	Линия	20	ВВГнг-LS -5x1,5		21					
ШРА1	Защита	NZMB1-4A-32	32	40	300	№10	8	120		30,1
	Линия	10	ВВГнг-LS -5x6		49					
ШРА1	Защита	NZMB1-4A-8	8	10	100	№11	2,2	25		5
	Линия	16	ВВГнг-LS -5x1,5		21					
ШРА1	Защита	NZMB1-4A-63	63	78,75	500	№17	30	399		57
	Линия	16	ВВГнг-LS -5x10		66					
ШРА1	Защита	NZMB1-4A-63	63	78,75	500	№18	30	39		57
	Линия	16	ВВГнг-LS -5x10		66					
ШРА1	Защита	NZMB1-4A-10	10	12,5	120	№22	5	61,6		8,8
	Линия	10	ВВГнг-LS -5x1,5		21					
ШРА1	Защита	NZMB1-4A-10	10	12,5	120	№23	4	61,6		8,8
	Линия	15	ВВГнг-LS -5x1,5		21					
ШРА1	Защита	NZMB1-4A-10	10	12,5	120	№24	4	61,6		8,8
	Линия	15	ВВГнг-LS -5x1,5		21					
ШРА1	Защита	NZMB1-4A-10	10	12,5	120	№25	4	61,6		8,8
	Линия	15	ВВГнг-LS -5x1,5		21					
ШРА1	Защита	NZMB1-4A-10	10	12,5	120	№26	4	61,6		8,8
	Линия	15	ВВГнг-LS -5x1,5		21					
ШРА1	Защита	NZMB1-4A-25	25	31,25	300	№27	9	120		20
	Линия	15	ВВГнг-LS -5x2,5		28					
ШРА1	Защита	NZMB1-4A-25	25	31,25	300	№28	9	120		20
	Линия	15	ВВГнг-LS -5x2,5		28					

Продолжение таблицы 15

Узел питания	Защита	Тип автоматического выключателя	Токи расцепителей			Электроприемник, № на плане (рисунок 7)	Активная мощность, кВт	Пусковой ток, А	Расчетный ток, А
			Ном, А	Ном, А					
				Теплового	Электромагнитного				
Линия	Длина, м	Тип проводника		Длительно допустимый ток					
ШРА1	Защита	NZMB1-4A-25	25	31,25	300	№29	9	120	20
	Линия	15	ВВГнг-LS -5x2,5		28				
ШРА1	Защита	NZMB1-4A-25	25	31,25	300	№30	9	120	20
	Линия	15	ВВГнг-LS -5x2,5		28				
ШРА2	Защита	NZMB1-4A-16	16	20	120	№1 (3,5,9,14)	5	87,5	12,5
	Линия	20	ВВГнг-LS -5x1,5		21				
ШРА2	Защита	NZMB1-4A-20	20	25	125	№2 (7)	5	58,55	15
	Линия	20	КГ-5x1,5		25				
ШРА2	Защита	NZMB1-4A-12	12	15	150	№8	5	60,8	10,3
	Линия	20	ВВГнг-LS -5x1,5		21				
ШРА2	Защита	NZMB1-4A-32	32	40	300	№13	8	120	30,1
	Линия	15	ВВГнг-LS -5x6		49				
ШРА2	Защита	NZMB1-4A-8	8	15,6	630	№12	3,2	36	6
	Линия	25	ВВГнг-LS -5x1,5		21				
ШРА2	Защита	NZMB1-4A-6	6	7,5	72	№6 (21)	2	24	4
	Линия	20	ВВГнг-LS -5x1,5		21				
ШРА2	Защита	NZMB1-4A-25	25	31,25	300	№4 (20)	10	155,4	22,2
	Линия	20	ВВГнг-LS -5x2,5		28				
ШРА2	Защита	NZMB1-4A-12	12	15	150	№15(19)	5,5	67	11,2
	Линия	25	ВВГнг-LS -5x1,5		21				
ШРА2	Защита	NZMB1-4A-8	8	15,6	630	№16	3	30	6
	Линия	30	ВВГнг-LS -5x1,5		21				

#### 2.4.4 Выбор типа подстанции

Обеспечение высокой степени надежности и безопасности является реальной перспективой, построенной на принципах системного подхода и применении современных инновационных решений в технической сфере.

Для обеспечения передачи сигналов на цифровой подстанции применяются защищённые цифровые технологии. При передаче данных в поток включаются контрольные коды и диагностическая информация, что не только обеспечивает защиту от ошибок в передаваемом сигнале, но и позволяет обнаруживать неисправности в сети передачи данных. Более того, цифровые сигналы могут быть переданы по оптическим кабелям без каких-либо помех, что исключает влияние электромагнитных интерференций.

Актуальность умного управления распределительными электрическими сетями обусловлена недостаточным качеством электроснабжения для потребителей с напряжением 0,4 кВ.

Основная цель - гарантировать надежное, качественное и экономически оправданное электроснабжение для всех пользователей.

Для достижения этой цели важно:

- использование высококачественного электротехнического оборудования, которое соответствует современным стандартам, является основой для надлежаще функционирующей системы. Подобное оборудование гарантирует стабильность работы и снижает вероятность сбоев, что, в свою очередь, влияет на эффективность и безопасность.
- применение современных цифровых технологий для контроля режимов работы ключевого электрооборудования предоставляет возможность более точного мониторинга и оптимизации его работы. Новейшие программные инструменты позволяют осуществлять анализ и управлять работой оборудования в

реальном времени, что способствует быстрой реакции на возникающие проблемы и обеспечивает более эффективное распределение ресурсов.

- использование систем для самодиагностики и контроля состояния электрического оборудования включает в себя процесс сбора, обработки и передачи информации. Это обеспечивает быструю реакцию на потенциальные неисправности и сбои.
- использование управления на расстоянии для коммуникационных устройств, позволяющего эффективно осуществлять контроль и управление всей системой.
- применение необслуживаемого оборудования или систем с сниженным объемом регламентных работ.
- создание стратегии для эксплуатации и технического обслуживания оборудования, основываясь на его настоящем состоянии. Это дает возможность улучшить процесс обслуживания и продлить его эксплуатационный срок.
- внедрение мер, которые способствуют снижению рисков возникновения пожаров, взрывов и негативного влияния на окружающую экосистему.

Нормы, представленные в [11] предоставляют возможность разработки подстанций нового поколения, соответствующих всем указанным требованиям.

Для группы цехов используется трансформаторная подстанция 10/0,4 кВ с тиристорным регулятором напряжения. На рисунке 17 представлена схема цифровой подстанции 10/0,4 кВ, применяющей тиристорный регулятор напряжения (ТРН). Эта подстанция обеспечивает функционирование технологической системы управления (ТСУ) на основе активно-адаптивной системы управления (ААСУ) в рамках распределенной системы мониторинга и управления (РСМУ).

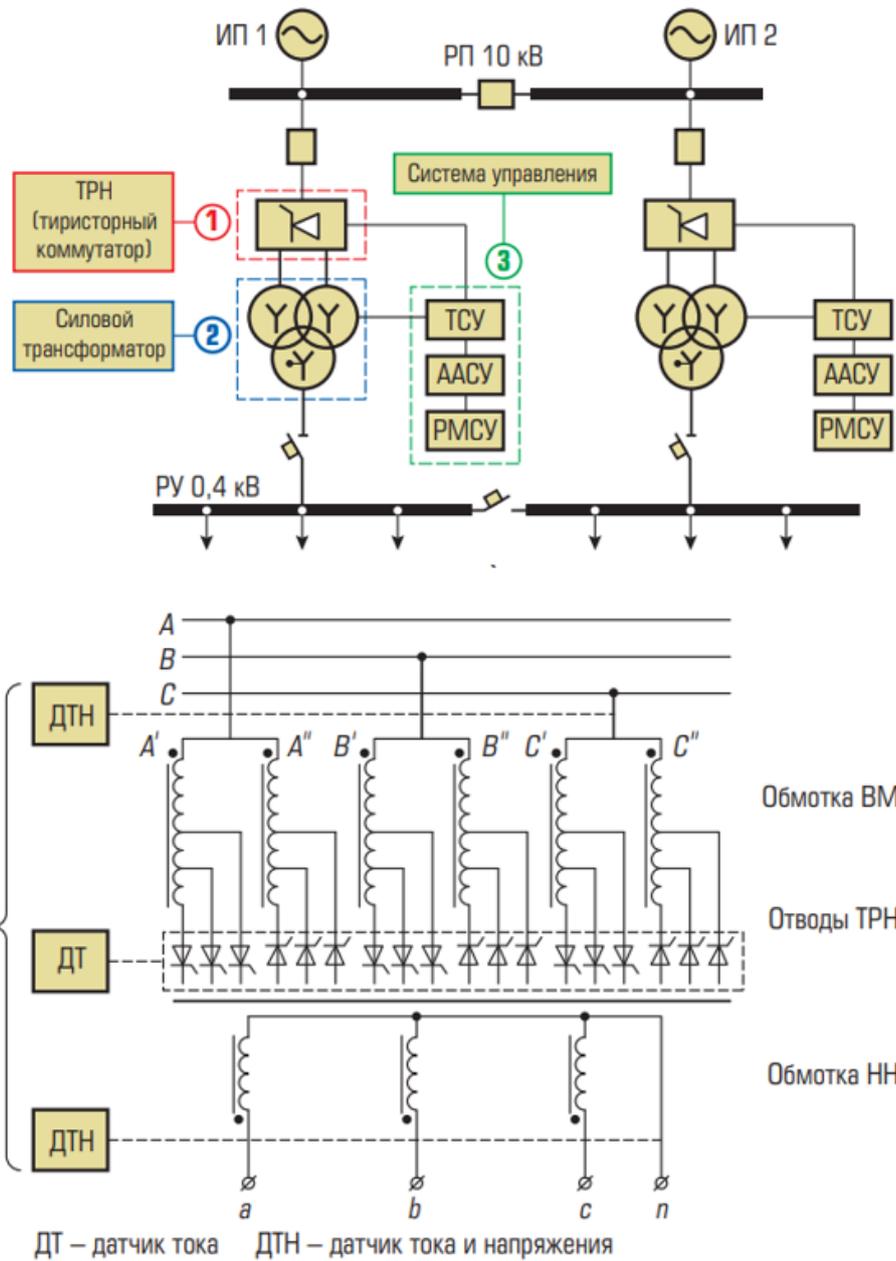


Рисунок 17 - Цифровая трансформаторная подстанция 10/0,4 кВ с тиристорным регулятором напряжения

### 2.4.5 Выбор оборудования подстанции

Выбор аппаратов производится по [15].

Номинальный ток трансформатора:

$$I_p = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}. \quad (54)$$

Номинальный ток трансформатора стороны ВН [17]:

$$I_{НОМ.ВН} = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 10} = 46 \text{ А.}$$

Устанавливаем комплектное распределительное устройство (КРУ) на напряжение 10 кВ марки «ЭЛТИМА» с номинальным током 630 А.

В данной ячейке планируется установка следующего оборудования:

- аппарат вакуумный марки OptiMat ВВ-ЕF-10-40/630-2-МВ на рисунке. 18.



Рисунок 18 – Выключатель вакуумный OptiMat ВВ-ЕF-10-40/630-2-МВ-30-0101000-1-1-CN0,5S-S-0 УЗ

- цифровой комбинированный датчик тока и напряжения 10 кВ марки ТЕСV.P1-10 с Iном. = 50 А на рисунке 19.



Рисунок 19 – Датчик ТЕСV.Р1-10

- не для коммерческого учета трансформаторы тока марки ТРУ-4 номинальным током  $I_{ном.} = 50 \text{ А}$ .

Сравниваем сопротивление всех приборов учета трансформаторов тока с их предельно допустимой нагрузкой:

$$Z_2 \leq Z_{ном2}, \quad (55)$$

где  $Z_{ном2}$  – номинальное;

$Z_2$  – сопротивление приборов учета трансформаторов тока.

Реальное сопротивление приборов учета трансформаторов тока:

$$Z_2 = \Sigma_{\text{приб}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{конт}}, \quad (56)$$

где  $\Sigma_{\text{приб}}$  – сопротивления приборов учета трансформаторов тока;

$r_{\text{пров}}$  – сопротивление проводов для подключения;

$r_{\text{конт}}$  – сопротивление контактов;

Рассчитываем сопротивление проводов для подключения:

$$r_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot m \cdot l}{F}, \quad (57)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала провода;  
 $m$  – коэффициент схемы включения трансформаторов;  
 $l$  – длина провода;  
 $q$  – сечение провода.

Получаем:

$$r_{\text{пров}} = \frac{0,0283 \cdot 1 \cdot 4}{4} = 0,0283 \text{ Ом.}$$

Расчет сопротивления приборов:

$$r_{\text{приб}} = \frac{7,5}{5^2} = 0,3 \text{ Ом.}$$

Подключаемые приборы указаны в таблице 16.

Таблица 16 – Показывающие приборы трансформатора тока

Прибор	Тип	Нагрузка фазы, ВА		
		А	В	С
Ваттметр	PS194P-3X1	5	-	5
Амперметр	PA194I-9K4	2,5	2,5	2,5
Счетчик активной и реактивной энергии	ЦЭ2726А	-	0,1	-
Итого	-	7,5	2,6	7,5

- не для коммерческого учета трансформаторы напряжения ТГР.4.
- разъединитель РЛНДЗ-1-10/400 на  $U_{\text{НОМ}}=10,0$  кВ с номинальным током 400 А;

Результаты проверки выбранной ячейки для подстанции представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Проверка ячейки 10 кВ

КРУ 10 кВ «ЭЛТИМА»			
$U_{ном}$	10 кВ	$U_{уст}$	10 кВ
$I_{ном}$	630 А	$I_p$	46 А
$i_{ном.дин}$	128 кА	$i_y$	20,26 кА
$I_{тер}^2 t_{тер} = 50^2 \cdot 3$	7500 кА <sup>2</sup> с	$B_K$	47,55 кА <sup>2</sup> с

Номинальный ток стороны 0,38 кВ:

$$I_p = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1217 \text{ А}$$

Номинальная величина тока для вводного автомата устанавливается в зависимости от способности пропускать максимальный ток нагрузки в случае аварийной ситуации:

$$I_{НОМ.ВА} = 1,2 \cdot 1217 = 1460 \text{ А}$$

Выбираем автоматический выключатель Masterpact MTZ на ток 1600 А

## 2.5 Реконструкция релейной защиты и автоматики

Ток КЗ за трансформатором

$$I_{кз(3)} = (100) \cdot I_{номТР} / 5 = (100) \cdot 1217 / 5 = 24338 \text{ кА.}$$

Устанавливаем время активации выключателя NW160H1. На рисунке 20 время – токовая характеристика NW при двухфазном коротком замыкании, значение кратности тока будет составлять:

$$K = 0,87 \cdot 24338,3 / 1600 = 13,2$$

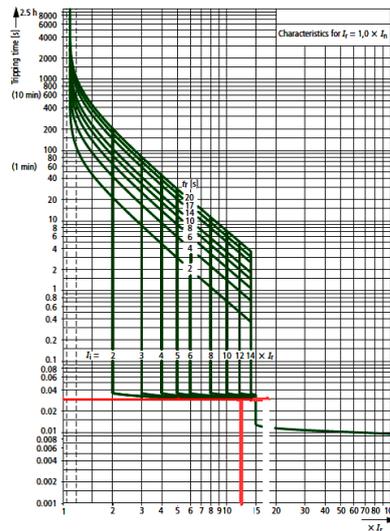


Рисунок 20 – Время – токовая характеристика NW

Время активации выключателя NW160H1 0,03 с.

Кратность тока в предохранителе при КЗ за трансформатором  $K = 2729 \cdot 0.4/10 / 16 = 6,8$ . Время срабатывания при этой кратности 0,6 с. Для отстройки от времени срабатывания от автоматического выключателя 0,4 кВ.

Применяем блок БРЕСЛЕР-0107.250

Ток срабатывания отсечки [9,14]:

$$I_{CO} \geq k_{отс} \cdot I_{кз.вн.мах} \quad (58)$$

где  $k_{отс} = 1,15$  – коэффициент отстройки;

$$I_{K4мах}^{(3)} = 24338 \cdot \frac{0,4}{10,5} = 927 \text{ A}$$

$$I_{CO} \geq 1,15 \cdot 927 = 1066,2 \text{ A.}$$

Коэффициент чувствительности отсечки:

$$k_{ч} = \frac{I_{K1MIN}^{(2)}}{I_{CO}} \quad (59)$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{0,87 \cdot 5525}{1066,2} = 4,5 \geq 2$$

Ток, при котором срабатывает максимальная защита, вычисляется с помощью следующей формулы. [9,14]:

$$I_{\text{с.з}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{сзп}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{раб.макс}} \quad (2.60)$$

где  $k_{\text{н}}$  - коэффициент надежности;

$k_{\text{в}}$  - коэффициент возврата терминала;

$k_{\text{сзп}}$  - коэффициент самозапуска двигателей.

$$I_{\text{с.з}}^{\text{III}} \geq \frac{1,1 \cdot 1,3}{0,935} \cdot 46 = 70,7 \text{ А.}$$

Определение чувствительности МТЗ:

$$k_{\text{ч}}^{\text{III}} = \frac{I_{\text{КЗMIN}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.ВБ}}^{\text{III}}} \quad (2.61)$$

$$k_{\text{ч}}^{\text{III}} = \frac{0,5 \cdot 927}{70,7} = 6,5 \geq 1,5.$$

Ток срабатывания защиты от перегрузки [9,14]:

$$I_{\text{с.з}} = \frac{k_{\text{отс}}}{k_{\text{в}}} I_{\text{н}}, \quad (60)$$

где  $k_{\text{отс}}=1,05$ .

$$I_{\text{с.з}} = \frac{1,05}{0,935} \cdot 46 = 51,6 \text{ А.}$$

### 3 Система освещения и молниезащиты

#### 3.1 Система освещения

Для помещения цеха выбираем светильник прожектор RVP351 (PHILIPS на рисунке 21.

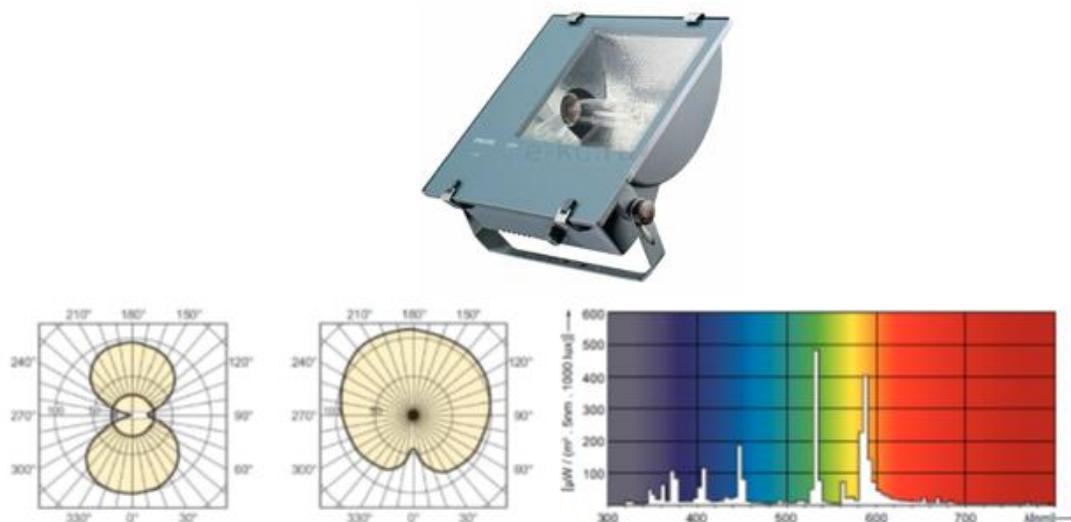


Рисунок 21 – Светильник RVP3-250: 1 – Внешний вид;  
2 – Фотометрические данные.

Подберем осветительные приборы для вспомогательных помещений.

Для служебных и бытовых зон с обычными условиями окружающей среды рекомендуем использовать люминесцентные лампы Osram L58W/765 мощностью 58 Вт с цоколем G13 T8 представленной на рисунке 22.



Рисунок 22 – Osram L36W/765 36 Вт G13 T8

Определение уровня освещенности в производственном помещении выполняется с использованием метода коэффициента использования.

Устанавливаем запасной коэффициент, равный 1,5. Индекс помещения, который нас интересует:

$$i = \frac{L_{ц} \cdot B_{ц}}{H_p \cdot (L_{ц} + B_{ц})} \quad (61)$$

где  $L_{ц}$  – длина цеха, м;

$B_{ц}$  – ширина цеха, м;

$H_p$  – высота свеса, м.

$$i = \frac{36 \cdot 24}{6 \cdot (36 + 24)} = 2,4$$

Световой поток рассчитываем, используя выражение:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot K_{зап} \cdot F \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (62)$$

где  $K_{зап}$  – коэффициент запаса;

$F$  – площадь, м<sup>2</sup>;

$z$  – коэффициент минимальной освещенности;

$E_{ср}$  – средняя освещенность, лк;

$\eta$  – коэффициент использования.

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 864 \cdot 1,1}{24 \cdot 1,0} = 17820 \text{ лм,}$$

По значению  $\Phi$  выбирается стандартная лампа HPI-T-250W

Производим расчет для вспомогательных помещений.

Пример расчета для кладовой:  $S = 36 \text{ м}^2$  высотой 3,2 м.

Определяем световой поток одного ряда светильников с люминесцентными лампами по выражению (2.18), только  $N$  – число рядов:

$$\Phi = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 36 \cdot 1,1}{1 \cdot 0,78} = 11423 \text{ лм,}$$

От двух ламп 36 Вт световой поток составит 5700 лм.

Количество светильников в кладовой:

$$N = 11423/5700 = 2 \text{ шт.}$$

Таблица 18 – Расчет освещения для вспомогательных помещений

Наименование помещения	Норма освещенности, лк	$H_p$ , мм	Размер	Кол-во светильников	$P_{ном}$ (Вт)
Кладовая	150	0,7	6x6	2	144
Подстанция	100	0,7	6x6	2	144
Комната мастеров	150	0,7	6x6	2	144
Гардероб	100	0,7	6x6	2	144

Итого по вспомогательным помещениям:

$$P_{p,o} = 164,16 \cdot 4 = 656,6 \text{ Вт}$$

Вспомогательные помещения запитываем от щита ЩО2.

Расчетный ток осветительной сети определяем по выражению:

$$I_{p,o} = \frac{P_{p,o}}{\sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot \cos \varphi}, \quad (63)$$

Расчетный ток щита ЩО1:

$$I_{p,o} = \frac{6270}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,96} = 9,9 \text{ А},$$

Выбираем щит марки ОЩВ-6 с вводным автоматом габарита 16 А.

Подключаем кабелем ВВГнг-LS-(5x1,5).

Расчетный ток щита ЩО2:

$$I_{p,o} = \frac{656,6}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,96} = 1,04 \text{ А},$$

Выбираем щит марки ОЩВ-6 с вводным автоматом габарита 1,5 А.

Светильники рабочего освещения разделены на 4 ряда по 6 светильников. Распределение по рядам указано в таблице 19.

Таблица 19 - Распределение по фазам и рядам

№ ряда \ Фаза	Количество светильников на фазу А, шт.	Количество светильников на фазу В, шт.	Количество светильников на фазу С, шт.
Ряд 1	2	2	2
Ряд 2	2	2	2
Ряд 3	2	2	2

Ток расчетный для фазы:

$$P_p^A = 1,1 \cdot n \cdot P_{НОМ} \quad (64)$$

где  $n$  – число ламп в фазе;

$P_{НОМ}$  – номинальная мощность лампы, кВт.

$$P_p^A = 1,1 \cdot 6 \cdot 0,250 = 1,65 \text{ кВт}$$

Ток фазы равен:

$$I_{p,о} = \frac{P_p^A}{\sqrt{3} \cdot U_\phi \cdot \cos \varphi} = \frac{1650}{220 \cdot 0,96} = 7,8 \text{ А,}$$

Подключаем кабелем ВВГнг–LS сечением 3х1,5 мм<sup>2</sup>.

Проведем анализ потери напряжения в групповом кабеле на 220 В, используя следующую формулу:

$$\Delta U_{РАСЧ} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{РАСЧ} \cdot L \cdot 100}{U} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)$$
$$r_0 = \frac{l}{\gamma \cdot S} \quad (65)$$

где:  $L$  – длина кабеля, км;

$U$  – напряжение, В;

$x_0$  – индуктивное сопротивление 1 км кабеля, Ом;

$r_0$  – активное сопротивление 1 км кабеля, Ом;

$l$  – длина 1 м кабеля, м (1000 м);

$\gamma$  – удельная проводимость меди, м/(Ом×мм<sup>2</sup>);

$S$  – сечение кабеля мм<sup>2</sup>.

$$\Delta U_{рас} = \frac{7,8 \cdot 0,05 \cdot 100}{220} \cdot \left( \frac{1000}{57 \cdot 1,5} \cdot 0,96 + 0,07 \cdot 0,28 \right) = 1,99 \% < \Delta U_{доп}$$

Кабель проходит по потере напряжения.

Светильники ФСП69 АО, представленный на рисунке 23 предназначены для аварийного освещения.



Рисунок 23 – Светильники ФСП69 АО

Количество светильников для аварийного освещения:

$$N = \frac{E_n \cdot K_{зан} \cdot F \cdot z}{\Phi_{НОМ} \cdot \eta} = \frac{15 \cdot 1,5 \cdot 864 \cdot 1,15}{1800 \cdot 0,73} = 14_{св},$$

Расчетная мощность аварийного освещения:

$$P_{ав,о} = (14 \cdot 40) \cdot 0,95 \cdot 1,2 = 638,4 \text{ Вт}$$

Ток аварийного освещения:

$$I_{A,о} = \frac{P_{A,о}}{\sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot \cos \varphi} = \frac{638,4}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 1,01 \text{ А},$$

Сводим результаты выбора кабелей в таблицу 20.

Таблица 20- Выбор кабелей осветительной сети

Потребитель	$P_{расч}$ , (Вт)	$I$ раб. (А)	кабель	$I$ длит.
Станочное отд-е	1650	7,8	ВВГнг-LS (3x1,5)	21
Кладовая	164	0,77	ВВГнг-LS (3x1,5)	21
Трансформаторная	164	0,77	ВВГнг-LS (3x1,5)	21
Комната мастера	164	0,77	ВВГнг-LS (3x1,5)	21
Гардероб	164	0,77	ВВГнг-LS (3x1,5)	21
ЩО1	6270	9,9	ВВГнг-LS (5x1,5)	21
ЩО2	656,6	1,04	ВВГнг-LS (5x1,5)	21
ЩАО	638,4	1,01	ВВГнгFRLS -(5x1,5)	21

Для ЩО1 устанавливаем дифференциальным автомат TDM SQ1604-0002 на ток 10 А.

Уставка электромагнитного расцепителя 120 А.

Выполняем проверку:

$$I_{кр} = 6,25 \cdot 9,9 = 61,87 \text{ А}$$

$$61,87 \text{ А} < 120 \text{ А}$$

Сводим результаты выбора аппаратов в таблицу 21.

Таблица 21- Выбор защитных аппаратов осветительной сети

Потребитель	$P_{ном}$ (кВт)	$I$ раб.(А)	Аппарат защиты	$I_{ном.А}$	$I_{э.р. А}$
Станочное отд-е	1650	7,8	C60N	8	96
Кладовая	164	0,77	C60N	1,0	12
Трансформаторная	164	0,77	C60N	1,0	12
Комната мастера	164	0,77	C60N	1,0	12
Гардероб	164	0,77	C60N	1,0	12
ЩО1	6270	9,9	TDM SQ1604	10	120
ЩО2	656,6	1,04	TDM SQ1604	1,5	18
ЩАО	638,4	1,01	TDM SQ1604	1,5	18

### 3.2 Система молниезащиты

Подстанция 10/0,4 кВ классифицируется по [25] как зона защиты типа А и относится к I категории систем молниезащиты.

Молниезащита осуществляется с помощью четырех молниеотводов стержневого типа.

Процесс проектирования молниезащиты подстанции заключается в определении высоты молниеотводов и формировании зоны защиты.

Расчет следует проводить в определенном порядке.

Определяем высоту молниеотводов:

$$h \geq \frac{D}{8 \cdot p} + h_x, \quad (66)$$

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

$h_x$  – высота здания подстанции (принимается  $h_x = 8$  м);

$p$  – поправочный коэффициент.

Рассчитываем высоту зоны:

$$h_0 = 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L_{1-2}^2}, \quad (67)$$

где  $L_{1-2}$  – расстояние между молниеотводами.

$$h_0 = 4 \cdot 14 - \sqrt{9 \cdot 14^2 + 0,25 \cdot 35,3^2} = 10,4 \text{ м}$$

Оптимальная высота молниеотводов составит:

$$h_{opt} = 0,571 \cdot h_0 + \sqrt{0,183 \cdot h_0^2 + 0,0357 \cdot L_{1-2}^2} \quad (68)$$

$$h_{opt} = 0,571 \cdot 10,4 + \sqrt{0,183 \cdot 10,4^2 + 0,0357 \cdot 35,3^2} = 14 \text{ м.}$$

Радиус зоны защиты:

$$r_x = 1,5 \cdot (h - 1,25 \cdot h_x), \quad (69)$$

$$r_x = 1,5 \cdot (14 - 1,25 \cdot 8) = 6 \text{ м}$$

Ширина зоны защиты.

$$b_x 1-2 = 3 \cdot (h_0 - 1,25 \cdot h_x) = 3 \cdot (10,4 - 1,25 \cdot 8) = 1,32 \text{ м}$$

$$h_0 1-4 = 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L_{1-4}^2} = 4 \cdot 14 - \sqrt{9 \cdot 14^2 + 0,25 \cdot 19,3^2} = 12,9 \text{ м};$$

$$b_x 1-4 = 3 \cdot (h_0 - 1,25 \cdot h_x) = 3 \cdot (12,9 - 1,25 \cdot 8) = 8,72 \text{ м} \quad \text{т.к.} \quad 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3} h;$$

$$h_0 2-3 = 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L_{2-3}^2} = 4 \cdot 14 - \sqrt{9 \cdot 14^2 + 0,25 \cdot 33,7^2} = 10,7 \text{ м};$$

$$b_x 2-3 = 3 \cdot (h_0 - 1,25 \cdot h_x) = 3 \cdot (10,7 - 1,25 \cdot 8) = 2,24 \text{ м};$$

$$h_0 3-4 = 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0,25 \cdot L_{3-4}^2} = 4 \cdot 14 - \sqrt{9 \cdot 14^2 + 0,25 \cdot 34,8^2} = 10,5 \text{ м};$$

$$b_x 3-4 = 3 \cdot (h_0 - 1,25 \cdot h_x) = 3 \cdot (10,5 - 1,25 \cdot 8) = 1,62 \text{ м}.$$

Построение внешней границы зоны защиты молниеотводов представлена на рисунке 24.

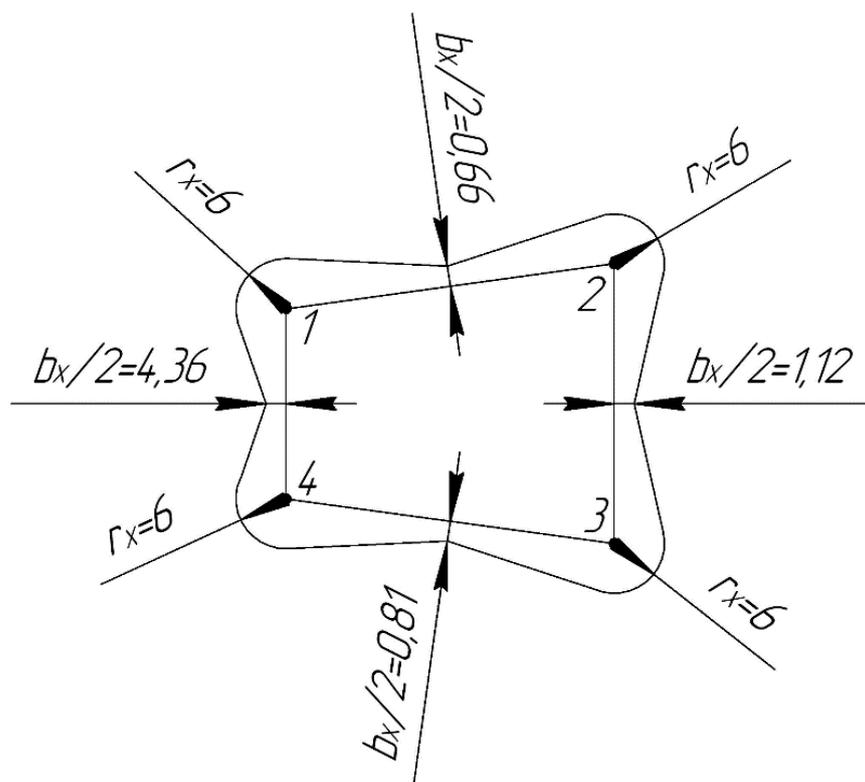


Рисунок 24 – Граница зоны защиты молниеотводов

Для снижения обратных перекрытий:

По ПУЭ п.4.2.136 – от стоек конструкций с молниеотводами в ОРУ обеспечено растекание тока молнии по магистралям не чем в двух – трех направлениях. Кроме того, должны быть установлены один – два вертикальных электрода длиной 3-5 м на расстоянии не менее длины электрода от стойки, на которой установлен молниеотвод. Расстояние по земле  $L_3$  и воздуху  $L_B$  от молниеотвода и его заземлителя до токоведущих и заземленных частей должно быть:  $L_3 \geq 3\text{м}$ ;  $L_B \geq 5\text{м}$ .

## Заключение

В данной ВКР разработано электроснабжение группы цехов механосборочного предприятия.

Все этапы работы соответствуют действующей нормативно-технической документации в сфере электроэнергетики.

Принятые решения в работе отражают последние прогрессивные тенденции в проектировании систем электроснабжения для городских потребителей.

Полученные результаты позволили принять решения по проектированию цифровой подстанции напряжением 10/0,4 кВ для группы цехов механосборочного предприятия, а также выбрать оптимальную мощность и число силовых трансформаторов.

Анализ перегрузочной способности подстанции группы цехов показал, что в настоящий момент мощность подстанции недостаточна. Многие оборудование требует замены.

В связи с изменением расчетной мощности трансформаторов подстанции было принято решение установить на подстанции два трансформатора по 800 кВА каждый вместо 2х630 кВА.

Применено современное оборудование.

Выбраны линии электроснабжения, выполненные кабелем марки ВВГнг-LS.

Окончательный результат проекта полностью соответствует действующим стандартам, инструкциям, правилам технической эксплуатации, правилам электробезопасности.

Разработанные конструкторские решения соответствуют прогрессивным тенденциям в практике проектирования систем электроосвещения общеобразовательных учреждений.

Комплекс мероприятий по энергосбережению позволяет достигать экономического эффекта в 35,5% от годовых затрат на оплату энергоресурсов.

В рамках энергетических обследований были предложены следующие энергосберегающие проекты, направленные на сокращение расходов электрической энергии:

- внедрение системы управления энергопотреблением;
- замена ламп и светильников на энергосберегающие;
- внедрение автоматизированной системы учета и контроля АСКУЭ.

На основании анализа современных тенденций производился выбор:

- рациональных напряжений в схеме сети, определяющих размеры капиталовложений, расходов цветного металла, потери электроэнергии и эксплуатационные расходы;
- электрических аппаратов;
- сечений проводов и жил кабелей в зависимости от ряда технических факторов.

Изучение новых материалов и научные исследования в области нанотехнологий дают предпосылки для дальнейшего роста световой эффективности, которая позволит в будущем больше снизить энергопотребление.

Светотехническое проектное решение освещения базировалось на современном оборудовании.

Результаты проектирования:

- выбор трансформаторов типа ТСЗН-800/10 мощностью 800 кВА каждый. Загрузка выбранных трансформаторов удовлетворяет требованиям в нормальном и послеаварийном режимах.
- принята к установке цифровая подстанция серии БКТП -800-10/0,4 (производства г. Санкт-Петербург), что позволило уменьшить сроки строительства за счет модульного решения до 8 месяцев;
- выбрана коммутационно-защитная аппаратура;

- разработана схема электроснабжения внутрицеховой сети;
- для компенсации реактивной мощности выбраны конденсаторные установки АУКРМ-150;
- рассчитаны токи короткого замыкания, по которым проведена проверка параметров оборудования;
- для защиты трансформаторов подстанции выбран терминал защиты «БРЕСЛЕР-0107.250»;
- применена система АСКУЭ.

Все поставленные задачи выполнены.

Все расчёты, текстовые и графические материалы выполнены в соответствии с требованиями ПУЭ, СНиПов и нормативных требований системы конструкторской и технологической документации.

## Список используемой литературы

1. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учеб.пособие для вузов. - 2-е изд., доп. - М.: Высш. шк., 2000. - 255 с.: ил.3.
2. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения Текст учеб. для вузов по специальности "Электроснабжение" направления "Электроэнергетика" В. А. Андреев. - Изд. 5-е, стер. - М.: Высшая школа, 2007. - 639 с. ил.
3. Булычев А.В., Наволочный А.А. Релейная защита в распределительных электрических сетях: Пособие для практических расчетов.-М.: ЭНАС,2011.
4. Выпуск №10. Методика выбора уставок защит Seram присоединений РП (РТП) 6-10 кВ с ячейками SM6. А.Н. Ермишкин. 2007 г.
5. ЗАО «РАДИУС Автоматика»Рекомендации по выбору уставок устройства защиты двухобмоточного трансформатора «Сириус-Т» , 2010.
6. Инструкция по оформлению приемо-сдаточной документации по электромонтажным работам И1.13-07. Ассоциация «Росэлектромонтаж» Москва 2007г.
7. Кабышев А.В. Электроснабжение объектов. Ч. 2. Расчет токов короткого замыкания в электроустановках до 1000 В: учебное пособие / – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 168 с.
8. Киреева Э.А., Орлов В.В., Старкова Л.Е. Электроснабжение цехов промышленных предприятий. – М.:НТФ «Энергопресс», 2003 г.
9. Кнорринг Г.М. Осветительные установки. – Л.: Энергия, 1981. – 412 с.
10. Колесник, Г. П. К60 Электрическое освещение: основы проектирования: учеб. пособие / гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. – 127 с.
11. Опылева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения:

Справочник: Учебное пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. –480с.

12. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство ЦЕНТРМАГ, 2021. – 154 с.

13. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2003. – 304 с.

14. Правила устройства электроустановок. - Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2005. - 854 с.

15. Правила устройства электроустановок. 7-ое изд., переработанное и дополненное. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 692 с.

16. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования. Учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений/ И.П. Крючков, Б.Н. Неклепаев, В.А. Старшинов и др. – М.: Издательский центр «Академия». 2005 – 416с.

17. Сибикин Ю.Н. Технология электромонтажных работ.-М.: Высш. Шк., 2007.-350 с.

18. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Технология электромонтажных работ.: Уч. пособие для проф.учеб. заведения – М.-Высш. Шк.; Изд. Центр «Академия», 2000.

19. Указания по расчету электрических нагрузок РТМ 36.18.32.4-92(технический циркуляр ВНИПИ Тяжпромэлектропроект № 359-92 от 30 июля 1992 г.)

20. Справочные данные по расчетным коэффициентам электрических нагрузок – М.: Тяжпромэлектропроект, 1990 г.

21. Соколов Б.А., Соколова Н.Б. Монтаж электрических установок. - 3-е изд., перераб. и доп.-М.: Энергоатомиздат, 1991.-592 с.

22. СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий, 2003. – 86 с.

23. СП 52.13330.2011. Свод правил. Естественное и искусственное освещение.

24. СП 52.13330.2016. Свод правил. Естественное и искусственное

освещение, 2016. – 74 с.

25. Сумарокова Л.П. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебное пособие/; Томский политехнический университет – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2012. – 288 с.

26. Указания по расчету электрических нагрузок РТМ 36.18.32.4-92(технический циркуляр ВНИПИ Тяжпромэлектропроект № 359-92 от 30 июля 1992 г.)

27. Федеральные единичные расценки на монтаж оборудования ФЕРм-2001-08. Электротехнические установки / Госстрой России. - Москва, 2001. - 152 с.

28. Шабад М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1985. 296 с.

29. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010.- 214с.