

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 завода по механической обработке изделий

Обучающийся

А.Г. Зябко

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Консультант

к.п.н., доцент Т.С. Якушева

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

Тольятти 2022

## Аннотация

Выпускная квалификационная работа по теме «Электроснабжение завода по механической обработке изделий» содержит в себе расчет электрических нагрузок, выбор силового трансформатора, расчеты токов короткого замыкания и систем защит, в том числе молниезащиты здания. В работе представлено оборудование завода. Завод расположен по адресу: Калининградская обл, Правдинский р-н, пгт Железнодорожный, улица Вокзальная, 14.

На данном предприятии необходимость таких расчётов связана с полной модернизацией, фактически созданием предприятия заново, так как всё имеющееся электрооборудование производственных и бытовых помещений пришло в негодность, морально и технически устарело. В работе выполнен достаточный объем расчётов, чтобы обеспечить выбор необходимого оборудования. Работа имеет четкую структуру и удобна для чтения и понимания. Все необходимые расчёты выполняются последовательно. Вначале производятся расчёты нагрузки определенной группы электрооборудования в цеху, затем оборудование всего цеха, освещение, компенсирующей установки и т.д.

Выпускная квалификационная работа бакалавра состоит из пояснительной записки объемом 82 страницы, включающей в себя 12 таблиц и 5 рисунков, а также 6 чертежей формата А1.

## **Abstract**

The Graduate qualification work on the topic "Power supply of the product machining plant" contains the calculation of electric loads, the selection of a power transformer, the calculations of short-circuit current and protection systems including lightning protection of a building. The work describes plant equipment. The plant is located at the address: 14, Vokzalnaya street, Zheleznodorozhny township, Pravdinsky district, Kaliningrad region.

The present plant requires such calculations because of the necessity of full modernization, in fact recreation of the plant, since all the existing electrical equipment of the plant and staff facilities has worn out and outdated. The work contains the calculations sufficient to ensure the selection of the necessary equipment. The work has a well-defined structure and is easy to read and understand. All necessary calculations are performed in a successive order. Initially there is the load calculation of a certain group of electrical equipment in the shop, then of the equipment of the entire shop, lighting, compensating equipment, etc.

The bachelor's Graduate qualification work consists of 82 pages of explanatory note including 12 tables and 5 figures, as well as 6 drawings of A1 sheet size.

## Содержание

Введение .....	5
1 Краткая характеристика объекта .....	7
2 Исходные данные для проектирования.....	9
3 Расчет электрических нагрузок цеха.....	14
3.1 Описание методики расчёта.....	14
3.2 Определение расчетной нагрузки цехов .....	18
4 Расчет освещения цехов.....	24
4.1 Описание методики расчёта .....	24
4.2 Расчёт основного освещения цеха.....	25
4.3 Расчёт аварийного освещения цеха .....	30
4.4 Расчет общей суммарной нагрузки цехов с учетом освещения.....	33
5 Выбор компенсирующего устройства.....	35
6 Расчет мощности понижающих трансформаторов и типа ТП.....	38
7 Выбор схемы эл. снабжения и расчет параметров эл. сети.....	41
8 Главный распределительный щит и силовые щиты предприятия.....	43
9 Выбор типа и сечения проводников.....	44
9.1 Расчёт рабочих токов .....	44
9.2 Выбор питающего кабеля .....	47
10 Проверка системы электроснабжения на потери напряжения .....	52
11 Проверка сети по колебанию напряжения при запуске ЭД.....	57
12 Расчет величины токов короткого замыкания .....	61
13 Выбор и проверка защитной аппаратуры до 1000В .....	66
13.1 Описание методики расчёта.....	66
13.2 Выбор защитной аппаратуры.....	67
13.3 Согласование и проверка защитной аппаратуры.....	71
14 Расчет контура заземления предприятия .....	76
Заключение .....	80
Список используемой литературы .....	81

## Введение

Использование современного оборудования и систем защиты позволяет исключить негативные и опасные стороны электроэнергии, а системы защиты, при возникновении внештатных ситуаций, позволят обеспечить надежную защиту людей и оборудования путем частичного или полного отключения электроснабжения.

Для соблюдения этих целей будет произведен расчет мощности силовых трансформаторов, расчет токов короткого замыкания, выбраны необходимые приборы для релейной защиты, выбор кабеля и другие необходимые расчеты.

Тема данной выпускной работы, наглядно показывает, что в современном мире электроэнергия используется достаточно широко и деятельность человека без её использования на данный момент невозможна. Даже если электроэнергия не используется непосредственно в каком-то производстве, она обязательно будет использована при обслуживании социально-бытовых нужд человека. Для её получения проектируются и строятся электрические станции, для передачи и распределения – воздушные линии и распределительные устройства. Для потребления электроэнергии – системы электроснабжения.

Правильно спроектированные системы электроснабжения выстраиваются в иерархию, которая позволяет выполнять передачу и распределение электроэнергии с учетом всех внешних и внутренних факторов, и не допускать перерывов электроснабжения на сроки, являющиеся критическими для социально-экономической жизни человека.

Электроснабжение завода, как и непосредственно сооружение самого здания, являются наиболее ответственными частями при проектировании. Так как не имеет смысла приобретать и устанавливать дорогое и современное оборудование, при невозможности обеспечить качество его электроснабжения, равно как и устанавливать его в здании не обеспечивающим хотя бы минимальные требования по правильной

эксплуатации. Не стоит забывать и о негативной стороне электроэнергии. Несмотря на то, что электроэнергия существует в природе в виде различных явлений, таких как молнии, в том числе шаровые, а также используется некоторыми живыми существами в качестве сигнальных и защитных механизмов, она тем не менее не была в окружении человека постоянно и не воздействовала на него непрерывно. Это значит, что в процессе эволюции у него не сформировалось никаких органов чувств, которые позволили бы определять ее наличие. Электроэнергию нельзя увидеть, нельзя понюхать, потрогать или как-то еще почувствовать. И таким образом в случае плохо спроектированной системы электроснабжения или при нарушении правил эксплуатации электрических приборов и оборудования, она может причинить значительный ущерб человеку и даже привести к его гибели. Следует учитывать, что негативное свойство электроэнергии не обязательно проявится только при непосредственном взаимодействии с человеком, оно также может проявиться в виде термического воздействия и как следствие пожаров, которые в свою очередь могут привести к значительным разрушениям зданий и сооружений и гибели людей.

Целью данной работы является организация обеспечения надежного и бесперебойного электроснабжения завода. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить ряд расчётов таких как:

1. Расчет мощности силовых трансформаторов.
2. Расчёт токов короткого замыкания.
3. Выполнить выбор и проверку защитной аппаратуры.
4. Расчёт контура заземления предприятия.

## 1 Краткая характеристика объекта

Производственное предприятие общество с ограниченной ответственностью «Калининградский турбо-механический завод» (ООО «КТМЗ»), расположенное по адресу п. Железнодорожный ул. Вокзальная, 14 Правдинский район, Калининградской области является новым предприятием, которое создано с целью конструирования, изготовления и ремонта деталей различного назначения. В основном данные детали используются в энергетике при ремонте газовых, паровых турбин, топливных насосов и гидравлических клапанов. Данное предприятие способно изготавливать детали и для другого вида оборудования по индивидуальным чертежам и проектам.

Станочный парк предприятия включает в себя широкий спектр современного оборудования, такого как фрезерные, зубофрезерные, токарные ЧПУ станки, роботизированная установка газопламенного напыления, установка гидроабразивной резки, принтер для 3Д печати, лазерный 3Д сканер другие.

Основным направлением деятельности КТМЗ является теплоэнергетическая отрасль промышленности как в России, так и за рубежом.

Однако благодаря разнообразию типов оборудования, предприятие может выполнять большой спектр задачи проектирования, изготовления и сборки изделий.

Различные участки предприятия выполняют свой комплекс работ.

На участке фрезерных-обрабатывающих центров выполняются фрезерные работы любой сложности, таких как обработка внутренних полостей рабочих колес насосов собственного производства, обработка рабочих частей лопаток турбин и другие.

На участке токарных и токарно-фрезерных обрабатывающих центров выполняются токарные работы любой сложности, а именно изготовление деталей насосов собственного производства. На токарно-фрезерном центре выполняется полное изготовление рабочей лопатки турбины.

На участке электроэрозионных станков проводится эрозионная обработка сложных контуров деталей пресс-форм и штампов, выполнение отверстий в газотурбинных лопатках, вырезание прямозубых и косозубых зубчатых колес. После приобретения супер-дрели «AD4L-S» будет возможность выполнения сверхглубоких отверстий в лопатках турбин и ускорит выполнения отверстий в газотурбинных лопатках.

В лаборатории проводится лазерная гравировка готовых изделий, 3D-печать макетов сложных элементов изделий, а также производится контроль выпускаемых изделий на наличие отклонений и дефектов. В процессе приобретения находится рентгенотелевизионная система BOSELLO S.R.E. MAX 70-120 CNC 225 для выявления дефектов в процессе изготовления и восстановления лопаток турбин. Продукция предприятия и производственные мощности используются для ремонта и обслуживания электростанций по всей России.

Выводы по разделу.

В разделе описано предприятие, электроснабжение которого будет организовано в данной работе. Предприятие построено на базе уже существующего промышленного здания после проведения соответствующих работ по техническому и косметическому восстановлению помещений и коммуникаций.



## 2 Исходные данные для проектирования

Для правильного расчета электроснабжения завода необходимо указать приёмники электроэнергии, которые будут использованы на предприятии [8]. В таблице 1 представлены данные о приемниках электроэнергии.

Таблица 1 – Перечень приемников электроэнергии с техническими характеристиками

Наименование/ количество	Напряжение В	Мощность кВт	cosφ*	Ки*	
Оборудование производственных помещений					
Установка гидроабразивной резки	1 шт.	380	22	0,82	0,7
Установка газопламенного напыления	1 шт.	380	25	0,8	0,7
Установка керамического напыления	1 шт.	380	25	0,8	0,7
Воздушный компрессор	2 шт.	380	11	0,85	0,7
Тельфер	1 шт.	380	4,5	0,5	0,05
Станок плоскошлифовальный 540	1 шт.	380	7,5	0,5	0,5
Круглошлифовальный станок РЦМ 2500	1 шт.	380	15	0,5	0,5
Станок токарно-винторезный СТ16К25Б	1 шт.	380	10	0,5	0,5
Станок сверлильный 2Н125	1 шт.	380	6	0,5	0,5
Универсальный фрезерный станок NSM-T	1 шт.	380	10	0,5	0,5
Токарный станок с ЧПУ СТ16А 25/1000	1 шт.	380	15	0,55	0,5
Вертикально фрезерный станок с ЧПУ SMEC PCV 400	1 шт.	380	26	0,6	0,5
Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ MB 56 VA	1 шт.	380	37	0,93	0,5
Токарно-фрезерный обрабатывающий центр Multus B 400W	1 шт.	380	75	0,55	0,5
Токарный станок с ЧПУ Smec	1 шт.	380	40	0,65	0,5
Токарный станок с ЧПУ DTM6	1 шт.	380	20	0,9	0,5
Токарно-фрезерный обрабатывающий центр Multus B 400W	1 шт.	380	75	0,55	0,5
Токарный станок с ЧПУ Smec	1 шт.	380	40	0,65	0,5

Продолжение таблицы 1

Наименование/ количество	Напряжение В	Мощность кВт	cosφ*	Ки*	
Оборудование производственных помещений					
Токарный станок с ЧПУ DTM6	1 шт.	380	20	0,9	0,5
Станок электроэрозионный прошивной 7170	1 шт.	380	12	0,6	0,2
Станок электроэрозионный проволочный DK7780	1 шт.	380	5	0,6	0,2
Станок токарный 16к20	1 шт.	380	11	0,62	0,5
Станок токарно-карусельный CX5116	1 шт.	380	40	0,65	0,5
Фрезерный станок 6P82	1 шт.	380	7,5	0,7	0,5
Фрезерный станок 6P12	1 шт.	380	7,5	0,7	0,5
Зубофрезерный станок 7417	1 шт.	380	3,4	0,7	0,4
Зубофрезерный станок	1 шт.	380	7,5	0,7	0,4
Зубофрезерный станок 5D32	1 шт.	380	2,8	0,7	0,4
Лентопил S200R	1 шт.	380	1,5	0,6	0,4
Лентопил HB 250M	1 шт.	380	1,5	0,6	0,4
Насос	9 шт.	380	0,8	0,8	0,7
Электронагреватель	1 шт.	380	8	1	0,7
Блоки силовых розеток первого цеха	5 шт.	380/220/220	3/1,5/1,5	0,8	0,5
Блоки силовых розеток второго цеха	3 шт.	380/220/220	3/1,5/1,5	0,8	0,5
Ворота	3 шт.	380	0,8	0,8	0,1
Вентиляционная система цеха	1 шт.	380	40	0,65	0,8
Приточно-вытяжная установка ПВ1	1 шт.	380	8	0,7	0,8
Приточно-вытяжная установка ПВ2	1 шт.	380	28,5	0,7	0,8
Воздушно отопительный агрегат 1го цеха	4 шт.	380	0,28	0,7	0,8
Воздушно отопительный агрегат 2го цеха	10 шт.	380	0,28	0,7	0,8
Освещение рабочее 1го цеха	36 шт.	220	0,065	-	-
Освещение рабочее 2го цеха	66 шт.	220	0,065	-	-
Освещение рабочее 2го цеха	66 шт.	220	0,065	-	-
Освещение аварийное	11 шт.	-	-	-	-
Освещение аварийное	17 шт.	-	-	-	-

На рисунке 1 представлен генеральный план предприятия с расставленным основным производственным оборудованием.

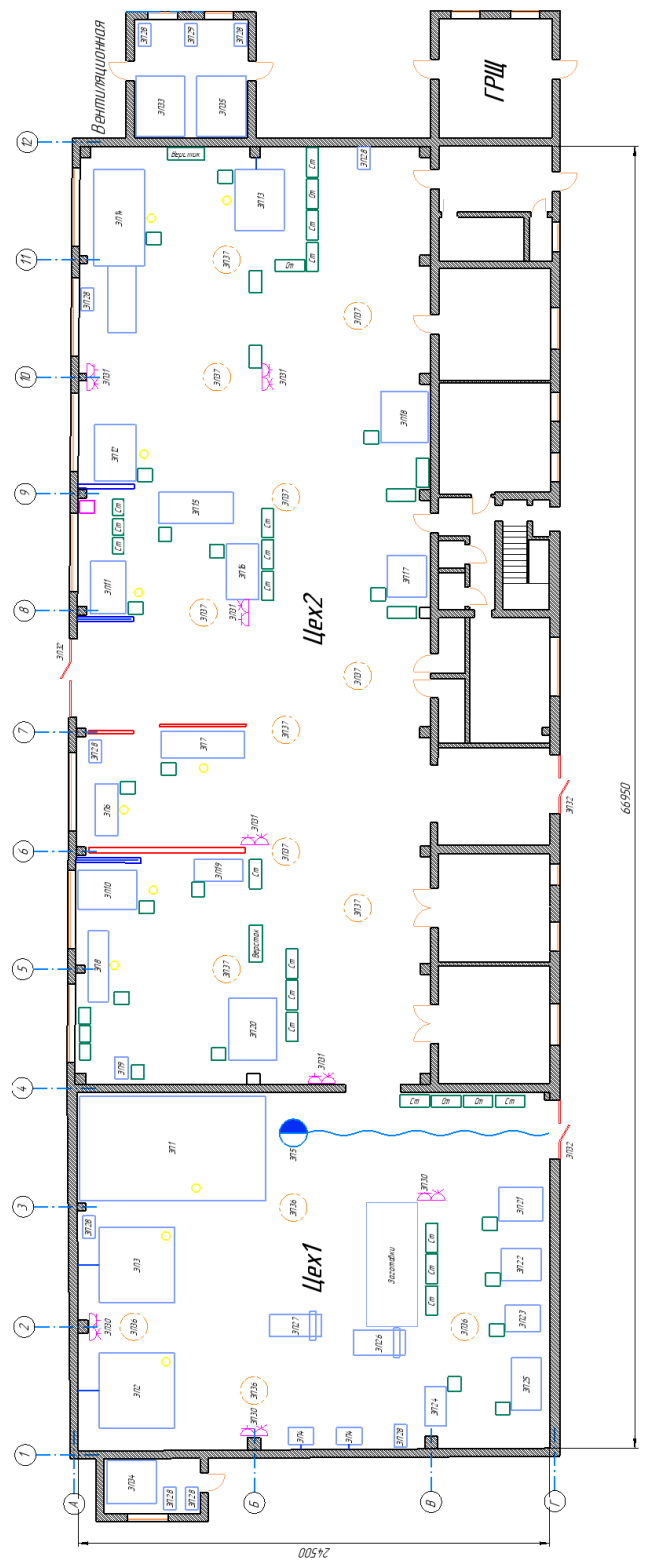


Рисунок 1 – Расстановка основного производственного оборудования на предприятии

Основная зона предприятия поделена на два цеха. В цеху №1 производится финальная или начальная стадия обработки. На начальной

стадии заготовка может быть обрезана до определенных габаритных размеров, очищена и т.д. На финальной стадии обработки изделия, происходит газопламенное напыления для создания требуемого покрытия.

В цеху №2 происходит основная работа заготовки и создание изделия при помощи различных станков и оборудования. Как видно из описания оборудования, на производстве имеются достаточно современные 3х и 4х координатные станки с ЧПУ позволяющие выполнять весь необходимый спектр работ с заготовкой. Количество станков и оборудования позволяет выполнять работы в условиях, когда один или даже несколько станков находятся в ремонте или по каким-то причинам не работают. Среда в помещении нормальная, а оборудование цеха можно отнести к III категории электроприемников.

Напряжение питания потребителей определено оборудованием, используемым на предприятии.

Основное оборудование – станки и системы обработки материала питаются напряжением 380 В. Такое значение напряжения питания обусловлено большой мощностью оборудования, что позволяет использовать при изготовлении меньше цветных металлов, а также снизить конечный вес оборудования и уменьшить потери [16].

Вспомогательное оборудование, оборудование небольшой мощности, переносное оборудование и освещение для своего питания использует напряжение 220 В. Такое значение напряжения обусловлено безопасностью, например при использовании переносного оборудования, такого как дрели, угловые шлифовальные машины, шлифовальные машины, человек непосредственно контактирует с подключенным к сети оборудованием. Нецелесообразно подключать оборудование небольшой мощности, например сварочные аппараты с инвертором, небольшие сверлильные станки к сети с питанием 380 В.

Основные электроприемники в цеху являются двигатели станков с ЧПУ. В данных станках применяются различные двигатели с обязательным

использованием ЧРП (частотно регулируемый привод), для управления скоростью вращения. Двигатели станка могут работать как в продолжительном режиме работы, так и в кратковременном [13]. Регулирование рабочих органов обычного токарного станка происходит механическим способом, при помощи шестерен в коробке скоростей.

В цеху дополнительно используются системы вентиляции и отопления необходимые для создания комфортной среды, для работы людей и оборудования.

Выводы по разделу.

По представленному оборудованию можно сделать вывод что завод комплектуется довольно современными средствами производства: станки с ЧПУ, установки керамического и газопламенного напыления и т.д. Современное оборудование не только повышает уровень и качество производства, но также позволяет экономить на электроэнергии.

### 3 Расчет электрических нагрузок цеха

#### 3.1 Описание методики расчёта

Так как нагрузка производственного предприятия складывается из оборудования различной мощности. Для равномерного распределения нагрузки целесообразно выполнить группировку оборудования по мощности, режиму работы и коэффициента использования.

«Определение электрических нагрузок будем производить методом коэффициента использования максимума электрических нагрузок.»

Для определения расчетных нагрузок вначале необходимо разделить приемники на группы [11]. Разделение на группы будем производить с учетом расположения оборудования в цеху, его функциональному назначению. При разделении будем учитывать также коэффициент использования  $K_n$  и коэффициент мощности  $\cos \varphi$ .

Подсчитываем количество электроприемников в каждой группе и по объекту в целом.

При определении номинальной мощности требуется знать продолжительность включения [6]. Если дополнительных указаний для имеющегося оборудования не дано, то продолжительность включения принимаем равным 1. Далее необходимо подсчитать суммарную мощность всех приемников и определить показатель силовой сборки.

Суммарная мощность всех ЭП определяется по формуле:

$$P_{n,\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{n,i} \quad (1)$$

Показатель силовой сборки  $m$ , для каждой группы ЭП определяется по формуле:

$$m = \frac{P_{ном.макс.1}}{P_{ном.мин.1}} \quad (2)$$

где  $P_{ном.макс.1}$  – номинальная мощность максимального потребителя, кВт,

$P_{ном.мин.1}$  – номинальная мощность минимального потребителя, кВт.

«Необходимо также определить средние нагрузки за наиболее загруженную смену силовых ЭП одинакового режима работы [19]. Данный вид нагрузок определяют по формулам:

$$P_{см} = K_u \cdot P_{ном}, \quad (3)$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot tg\phi \quad (4)$$

где  $P_{см}$  – средняя активная мощность одного или группы приемников за наиболее загруженную смену, кВт,

$K_u$  – коэффициент использования,

$P_{ном}$  – номинальная мощность электрических приемников берем по таблице 1, кВт,

$Q_{см}$  – средняя реактивная мощность одного или группы приемников за наиболее загруженную смену.

Суммарные средние нагрузки для всего цеха или нескольких цехов определяем по формуле:

$$P_{см} = \sum_1^n P_{см} \quad (5)$$

$$Q_{см} = \sum_1^n Q_{см} \quad (6)$$

После нахождения средних нагрузок для всего цеха необходимо определить средний коэффициент использования группы ЭП  $K_u$ . Он рассчитывается по формуле:

$$K_u = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{ном}} \quad (7)$$

Зная номинальные мощности группы ЭП или всего необходимо определить эффективное число приемников группы [9]. Для этого существует несколько способов.» Один из них – это определение эффективных приемников по формуле:

$$n_э = \frac{(\sum P_{ном.})^2}{\sum P_{ном.i}^2} \quad (8)$$

Стоит учесть, что формулу 8 целесообразно использовать для расчетов при числе приемников в группе не больше 4. В случае большого количества расчетов и при большом числе приемников, лучше использовать упрощенные способы вычисления [20].

При  $n \geq 4$ ,  $m < 3$  допускается принять  $n_э = n$ . При определении величины  $n_э$ , могут быть исключены те наименьшие приемники группы, максимальная мощность которых не превышает 5% суммарной номинальной мощности всей группы.

При  $m > 3$   $K_{ис} \geq 0,2$ , эффективное число электроприемников может быть определено по формуле:

$$n_э = \frac{2 \sum P_{ном.}}{P_{ном.макс}} \quad (9)$$

Указанные выше упрощенные способы вычисления в большинстве случаев позволяют выполнить расчет. Если условия не позволяют их



использовать, рекомендуется воспользоваться специализированной справочной литературой для проведения более сложных расчетов.

«Максимальная активная мощность определяется по формуле:

$$P_{max} = K_M \cdot P_{ном}, \text{ кВт} \quad (10)$$

где  $K_M$  – коэффициент максимума определяем по таблице 3.2 [ 1 ],

$P_{ном}$  – номинальная мощность электрического приемника.

Максимальная реактивная мощность определяется по формуле:

$$Q_{max} = K'_M \cdot Q_{см}, \text{ кВар} \quad (11)$$

где  $K'_M$  - коэффициент максимума реактивной мощности, при  $n_{\text{Э}} \geq 10$

$K'_M=1$ , при  $n_{\text{Э}} < 10$  -  $K'_M=1,1$ .

Полная максимальная мощность определяется по формуле:

$$S_{max} = \sqrt{P_{max}^2 + Q_{max}^2}, \text{ кВА} \quad (12)$$

Максимальный ток определяется по формуле:

$$I_{max} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} U_{ном}}, \text{ А} \quad (13)$$

С учетом имеющейся у нас нагрузки из задания, плана расстановки оборудования распределим нагрузку по следующим группам.» Каждая группа будет подключаться к силовому щиту (ЩС). Силовые щиты располагаются непосредственно в цехах. Некоторые будут установлены возле мощных потребителей, некоторые располагаются группами на одной из стен здания. Такое расположение позволяет иметь легкий доступ к ЩС с целью ремонта, обслуживания и отключения/включения нагрузки [10].

Электроприемники, распределенные по ЩС.

ЩС-1: ЭП № 1,2,3,4,5;	ЩС-8: ЭП № 28,29;
ЩС-2: ЭП № 6,7,8,9,10;	ЩС-9: ЭП № 30;
ЩС-3: ЭП № 11,12,13;	ЩС-10: ЭП №31,
ЩС-4: ЭП № 14;	ЩС-11: ЭП №32;
ЩС-5: ЭП № 15,16,17,18;	ЩС-12: ЭП № 33;
ЩС-6: ЭП № 19,20;	ЩС-13: ЭП № 34,35;
ЩС-7: ЭП № 21,22,23,24,25,26,27;	ЩС-14: ЭП № 36,37;

### 3.2 Определение расчетной нагрузки цехов

Так как количество оборудования в цеху достаточно много (таблица 2), а методика расчета для каждой из групп ЩС одинаков, рассмотрим для примера расчет нагрузки для ЩС-1.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета нагрузки ЩС-1

Наименование электроприемников	Ном. актив. мощ. $P_{ном}$ , кВт	Кол-во ЭП, шт.	Коэф. исп. $K_{и}$	Коэф. Мощн.	
				$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
Установка гидроабразивной резки	22	1	0,7	0,82	0,69
Установка газопламенного напыления	25	1	0,7	0,8	0,75
Установка керамического напыления	25	1	0,7	0,8	0,75
Воздушный компрессор	11	2	0,7	0,85	0,62
Тельфер	4,5	1	0,1	0,5	1,73

Определяем среднюю нагрузку ЭП за наиболее загруженную смену по формулам (5), (6):

$$P_{см1} = 0,7 \cdot 22 = 15,4 \text{ кВт}; \quad Q_{см1} = 15,4 \cdot 0,698 = 10,7493 \text{ кВар};$$

$$P_{см2} = 0,7 \cdot 25 = 17,5 \text{ кВт}; \quad Q_{см2} = 17,5 \cdot 0,75 = 13,125 \text{ кВар};$$

$$\begin{aligned}
 P_{см3} &= 0,7 \cdot 25 = 17,5 \text{ кВт}; & Q_{см3} &= 17,5 \cdot 0,75 = 13,125 \text{ кВар}; \\
 P_{см4} &= 0,7 \cdot 11 \cdot 2 = 15,4 \text{ кВт}; & Q_{см4} &= 15,4 \cdot 0,61974 = 9,54406 \text{ кВар}; \\
 P_{см5} &= 0,05 \cdot 4,5 = 0,225 \text{ кВт}; & Q_{см5} &= 0,225 \cdot 1,73205 = 0,3897 \text{ кВар}.
 \end{aligned}$$

Определяем  $K_u$  группы по формуле (7):

$$K_u = \frac{66,025}{98,5} = 0,67 > 0,2$$

Показатель силовой сборки по формуле (3) будет равен:

$$m = \frac{25}{4,5} = 5,6$$

Определим эффективное число электроприемников воспользовавшись сведениями из предыдущего пункта. Так как справедливы следующие отношения  $n \geq 5$  и  $m \geq 3$  воспользуемся формулой (9):

$$n_e = \frac{2 \cdot 98,5}{25} = 7,88$$

Если при использовании формулы (9), эффективное количество электроприемников получилось больше фактического, например, как в нашем случае, то эффективное число электроприемников следует принять равным фактическому. В нашем случае, эффективное число электроприемников будет равно 6.

Коэффициент максимума определяем по таблице 3.2 [ 1 ]. В случае, когда коэффициент использования получается отличным от фиксированных данных, указанных в таблице, рекомендуется использовать метод интерполяции. Тогда значение коэффициента максимума будет определено достаточно точно.

$$K_M = K_{M1} - \frac{K_{M1} - K_{M2}}{(K_{u2} - K_{u1})} (K_u - K_{u1}) \quad (14)$$

где  $K_{u1}$ ,  $K_{u2}$ ,  $K_{M1}$ ,  $K_{M2}$  – граничные значения коэффициентов  $K_u$  и  $K_M$ .

Выполним расчёт:

$$K_M = 1,37 - \frac{1,37 - 1,23}{0,7 - 0,6} \cdot (0,67 - 0,7) = 1,328$$

Рассчитав все необходимые коэффициенты, можно выполнить расчет максимальной активной реактивной мощности. Расчёт будем вести по формулам (10) и (11):

$$P_{max} = 1,328 \cdot 66,025 = 87,6812, \text{ кВт}$$

$$Q_{max} = 1,1 \cdot 46,933 = 51,6263, \text{ кВАр}$$

Значение коэффициента  $K'_M$  при расчете максимальной реактивной мощности принимаем равным 1,1 так как эффективное число электроприемников меньше 10.

Полную максимальную мощность находим по формуле (13):

$$S_{max} = \sqrt{87,6812^2 + 51,6263^2} = 101,751, \text{ кВА}$$

Расчетный ток определяем по формуле (14):

$$I_{max} = \frac{101,751}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 146,865, \text{ А}$$

На данном этапе мы определили все необходимые параметры. Расчетную нагрузку для остальных групп электроприемников определим аналогичным способом [14]. Результаты расчетов заносим в таблицу 3.

Выполним расчет нагрузки для всего цеха.

Все электроприемники цеха разделены на группы их суммарная мощность будет равно суммарной мощности цехов один и два:

$$\sum P_{цехов} = \sum P_{ном} = 633,32 \quad (15)$$

Определяем показатель силовой сборки:

$$m = \frac{75}{0,28} = 52,5 > 3$$

Определяем суммарную нагрузку цеха за наиболее загруженную смену:

$$\begin{aligned} \sum P_{см.цехов} &= 66,025 + 48,5 + 39 + 37,5 + 33,4 + 25,5 + 14,18 + \\ &+ 50,96 + 15 + 9 + 0,24 + 32 + 29,2 + 3,136 = 403,641 \text{ кВт} \\ \sum Q_{см.цехов} &= 46,933 + 42 + 36 + 56,943 + 32,7591 + 23,3826 + 14,842 + \\ &+ 11,25 + 6,75 + 0,18 + 34,4121 + 29,79 + 3,19936 = 341,477 \text{ кВАр} \end{aligned}$$

Определяем коэффициент использования нагрузки ЭП цеха:

$$K_{и.цехов} = \frac{253,37}{601,06} = 0,63 > 0,2$$

Так как  $n > 5$ ,  $K_{и} > 0,2$ ,  $m > 3$ , то для расчета эффективных ЭП можно воспользоваться формулой (9):

$$n_{э} = \frac{2 \cdot 601,6}{75} = 16$$

Коэффициент максимума определяем по таблице 3.2 [ 2 ]. Так как  $K_{и.цехов} = 0,63$ , что не является точным табличным значением то для определения  $K_{M,рас}$  воспользуемся методом интерполяции:

$$K_{M,рас} = 1,18 - \frac{1,18 - 1,12}{(0,6 - 0,7)} (0,63 - 0,6) = 1,162$$

Определяем расчетные активные и реактивные мощности:

$$P_{max} = 1,162 \cdot 253,37 = 469, \text{ кВт}$$
$$Q_{max} = 1 \cdot 341,477 = 341,477, \text{ кВар}$$

Значение коэффициента  $K'_m$  при расчете максимальной реактивной мощности принимаем равным 1 так как эффективное число электроприемников больше 10.

Полная расчетная мощность цехов:

$$S_{max} = \sqrt{469^2 + 341,477^2} = 580,17, \text{ кВА}$$

Расчетный ток цехов:

$$I_{max} = \frac{580,17}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 837,4, \text{ А}$$

Результаты всех расчетов занесены в таблицу 3. Стоит обратить внимание на значения эффективных электроприемников меньше 5. Данные цифры обусловлены тем, что в группы для ЩС не всегда попадало достаточное количество оборудования, так как оно могло принадлежать к различным цехам или иметь функциональное отличие не позволяющее включать его в группу. Так же стоит отметить, что расчёт коэффициента

максимума для таких случаев выбирался из таблицы, в которой минимальное количество ЭП равно 5. Таким образом все значения коэффициента максимума соответствуют эффективному значению ЭП равному 5.

Таблица 3 – Данные по расчётной нагрузке цехов

Участок сети	Коэфф. максимума $K_{\max}$	Макс. активная мощность $P_{\max}$ , кВт	Макс. реактив. мощность $Q_{\max}$ , кВАр	Макс. полная мощность $S_{\max}$ , кВА	Макс. ток $I_{\max}$ , А	Коэфф. использ. $K_{и}$	Эффект. число ЭП $n_{Э}$
ЩС -1	1,328	87,6812	51,6263	101,751	146,865	0,67	6
ЩС -2	1,57	38,0725	46,2025	59,868	86,4121	0,5	5
ЩС -3	1,57	61,23	39,637	72,9397	105,279	0,5	3
ЩС -4	1,57	58,875	62,6373	85,9634	124,077	0,5	1
ЩС -5	1,703	56,88	36,0351	67,3341	97,1884	0,43	3
ЩС -6	1,57	40,035	33,377	52,1232	75,2334	0,5	2
ЩС -7	1,528	21,667	16,3265	27,1296	39,1582	0,44	7
ЩС -8	1,26	13,4064	4,158	14,0364	20,2598	0,7	3
ЩС -9	1,34	20,1	12,375	23,604	29,3094	0,5	9
ЩС -10	1,34	31,5	12,375	33,8436	48,8491	0,5	15
ЩС -11	3,23	0,7752	0,198	0,8	1,154	0,1	3
ЩС -12	1,12	35,84	41,1534	24,572	78,7676	0,8	1
ЩС -13	1,12	32,704	32,769	46,2964	66,8231	0,8	2
ЩС -14	1,12	3,51232	3,5193	4,97211	7,17662	0,8	14
Цех	1,162	469	341,477	580,17	837,4	0,63	16

Выводы по разделу.

В данном пункте работы оборудование разбито на группы и произведен расчёт нагрузки цехов. Такое объединение ЭП в группы достаточно оптимально, так как учитывает их мощность и расположение. Все полученные данные занесены в таблицу, которой при необходимости можно воспользоваться в следующих разделах работы.

## **4 Расчет освещения цехов**

### **4.1 Описание методики расчёта**

В современном мире очень большое внимание уделяется экономии электроэнергии. Освещение одна из сфер производства, в которой можно существенно снизить потребление при неизменном качестве и уровне освещения. Для этого применяются светодиодные светильники. В среднем при использовании таких светильников экономия может составлять 2,5 раза.

Промышленные светодиодные светильники имеют следующие положительные качества:

- высокие КПД;
- экологически чистые;
- той от пыли;
- могут работать в сложных климатических условиях;
- не требуют обслуживания;
- большая наработка на отказ.

Среди недостатков можно выделить необходимость использования качественного блока питания для данных ламп. Обычно блоки питания встроены в сам светильники и при некачественном исполнении могут привести к порче светодиодов. Вторым существенным недостатком является пульсация, причем в отличие от люминесцентных ламп, пульсация светодиодных не всегда заметна глазу [12]. Данный недостаток также зависит от качества исполнения блока питания. Выполняя подбор источников света для предприятия следует учитывать в первую очередь их экономичность, а также достоинства и недостатки.

«Для расчета освещения цеха, будет использовать метод коэффициентов использования светового потока.

Рабочее освещения относится к основному виду освещения. Оно необходимо для проведения работ в цеху.



Аварийное освещение необходимо для эвакуации людей при погашении рабочего освещения. Оно должно обеспечивать на рабочих местах освещенность не менее 5% установленной для нормальных условий.

На производстве одно общее помещения здания поделено на два цеха. Поэтому расчет будем проводить для двух цехов.

Габариты первого цеха – 18,71 x 24 м.

Габариты второго цеха – 18,19 x 48,24 м.

Для освещения цехов используем промышленные светодиодные светильники GSSN-60. Светодиодные светильники позволяют сэкономить на электроэнергии, так как при аналогичном световом потоке потребляют значительно меньше электроэнергии, а использование качественных светильников, исключает наличие пульсаций, которые являются основным недостатком такого рода приборов освещения. Светодиодные светильники этой модели, по опыту эксплуатации, доказали свою эффективность и полностью подтвердили заявленные заводом изготовителем технические характеристики.

#### 4.2 Расчёт основного освещения цеха

Высота помещения составляет 6,4 м. Высота расчетной поверхности над полом составляет  $h_p = 1,5$  м. Расчетную высоту можно определить по формуле:

$$\begin{aligned} H_p &= h_n - h_p - h_c, м, \\ H_p &= 6,4 - 1,5 - 0,5 = 4,4, м. \end{aligned} \quad (16)$$

Для определения расстояния между рядами светильников воспользуемся формулой:

$$L = H_p \cdot L_{onm} \quad (17)$$

где  $L_{onm}$  – рекомендуемое значение относительного расстояния для светильников с типовой кривой силы света [6].»

В производственных помещениях обычно используют светильники с «концентрированной», «глубокой» или «косинусной» кривыми. Стоит учитывать, что чем выше расположен светильник тем уже получится максимальная зона света. В нашем производственном помещении будем использовать «косинусную» кривую. Для «косинусной» типовой кривой [7]:

$$L_{onm} = 1,2 \div 1,6$$

$$L = 4,4 \cdot 1,6 = 7,04$$

Тогда число рядов светильников можно определить по формуле:

$$n = \frac{B}{L} \quad (18)$$

где  $B$  – ширина расчетного помещения, м.

Определим количество рядов для каждого из цехов

$$n_1 = \frac{24,5}{7,04} = 3,48 \approx 4$$

$$n_2 = \frac{18,19}{7,04} = 2,58 \approx 3$$

Установим следующее число рядов светильников: для первого цеха  $n_1 = 4$ , для второго  $n_2 = 3$ . Выполним расчет расстояния между рядами светильников по формуле:

$$L_{BO} = \frac{B - 2 \cdot L_{CT,B}}{n_p - 1} \quad (19)$$

где  $L_{CT,B}$  – расстояние от крайнего ряда светильников до стены, (м).

С учетом выбранных светильников примем  $L_{CT,B} = 2$  м.

$$L_{BO1} = \frac{24,5 - 2 \cdot 2}{4 - 1} = 6,83 \text{ м},$$

$$L_{BO2} = \frac{18,19 - 2 \cdot 2}{3 - 1} = 7,095 \text{ м}.$$

Общее количество светильников в каждом из цехов определим по формуле:

$$N = \frac{E_H \cdot K \cdot S \cdot z}{n_l \cdot \Phi_l \cdot \eta} \quad (20)$$

где  $\Phi_l$  – поток ламп в каждом светильнике,

$z$  – коэффициент, который характеризует неравномерность освещения, для светодиодных ламп он равен  $z = 1$ ,

$\eta$  – коэффициент использования.

Для определения коэффициента использования, необходимо вычислить индекс помещения  $i$  по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} \quad (21)$$

где  $A$  – длина расчетного помещения, м.

После расчета индекса помещения необходимо оценить коэффициенты отражения: потолка -  $\rho_n$ , стен -  $\rho_c$ , расчетной поверхности или пола -  $\rho_p$ . Данные коэффициенты принимаются исходя из справочных данных и характеристике помещения. Для наших цехов примем равными  $\rho_n = 0,5$ ;  $\rho_c = 0,5$ ;  $\rho_{pn} = 0,1$ .

Рассчитаем индекс помещения для первого и второго цеха:

$$i_1 = \frac{18,71 \cdot 24,5}{4,4 \cdot (18,71 + 24,5)} = 2,41$$

$$i_2 = \frac{48,24 \cdot 18,19}{4,4 \cdot (48,24 + 18,19)} = 3$$

По справочным таблицам [3] определим  $\eta$ :

а) для первого цеха:  $\eta_1 = 77\%$ ,

б) для второго цеха:  $\eta_2 = 81\%$ ,

в) коэффициент запаса  $k$ , из формулы, примем равным 1,5.

Площадь первого и второго цеха определим по формуле:

$$\begin{aligned} S &= A \cdot B \text{ м}^2, & (22) \\ S &= 18,71 \cdot 24,5 = 458,4 \text{ м}^2, \\ S &= 48,24 \cdot 18,19 = 877,5 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

Заданную минимальную освещенность определяем по табл. 4-1 [3] для зрительной работы высокой точности общее освещение  $E = 300$  лк.

Для освещения принимаем лампы GSSN-60 со световым потоком 7440 лм. Определим число светильников по формуле (20):

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 458,4 \cdot 1}{1 \cdot 7440 \cdot 0,77} = 36 \\ N_2 &= \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 877,5 \cdot 1}{1 \cdot 7440 \cdot 0,81} = 65,52 \end{aligned}$$

Тогда число светильников в ряду в первом цеху:

$$N_{св.ряд} = \frac{N_{св}}{N_{ряд}} = \frac{36}{4} = 9$$

Число светильников в ряду во втором цеху:

$$N_{св.ряд} = \frac{N_{св}}{N_{ряд}} = \frac{65,52}{3} = 21,84$$

Таким образом для первого цеха принимаем равным:

$$N_{св.ряд} = 9, N_{св} = 36$$

Для второго цеха:

$$N_{св.ряд} = 22, N_{св} = 66$$

Найдем расстояние между светильниками в одном ряду по формуле:

$$L_{A.Ф} = \frac{A - 2 \cdot L_{A.СТ}}{N_{св.ряд} - 1} \quad (23)$$

где  $A$  – длина помещения без учета толщины стен,

$L_{A.СТ}$  – расстояние от первого светильника в ряду.

Данное расстояние определяем по формуле:

$$L_{A.СТ} = \frac{1}{2} \cdot \frac{A}{N_{св.ряд}} \quad (24)$$

Определим расстояние от первого светильника в первом цеху:

$$L_{ACT} = \frac{1}{2} \cdot \frac{18,7}{4} = 2,3375$$

Определим расстояние от первого светильника во втором цеху:

$$L_{ACT} = \frac{1}{2} \cdot \frac{48,24}{22} = 1,1$$

Определим расстояние между светильниками в ряду в первом цеху:

$$L_{A.\Phi} = \frac{18,71 - 2 \cdot 2,3375}{4 - 1} = 4,67$$

Определим расстояние между светильниками в ряду во втором цеху:

$$L_{A.\Phi} = \frac{48,24 - 2 \cdot 1,1}{22 - 1} = 2,2$$

### 4.3 Расчёт аварийного освещения цеха

После расчета рабочего освещения необходимо провести расчет аварийного освещения. Аварийное освещение подразделяется на эвакуационное и резервное. Эвакуационное освещает пути эвакуации входы и выходы из здания. Аварийное освещение задействуется в случае пропадания питания для основного освещения. Оно необходимо чтобы сотрудники предприятия могли при необходимости безопасно завершить работу и покинуть рабочее место.

Согласно стандартам, требуемая степень освещенности должна составлять, для аварийного освещения не менее 10% от рабочего освещения, при этом не менее 15Лк, сохраняя при этом равномерность освещения должна сохраняться на уровне 1:10. Аварийное освещение следует осуществлять светодиодными светильниками. Данный тип светильников не потребляет значительного количества электроэнергии при большом значении светового потока, что является идеальным решением для аварийного освещения.

Так как норма для наших цехов по освещению составляет 300 Лк, то величина аварийного освещения должна составлять 10% от 300Лк. Коэффициент запаса для данного расчёта примем равным 1,2. Для аварийного освещения будем использовать светодиодные светильники модели GSSN-30 со световым потоком 3720 Лм

Определим число светильников для цехов по формуле (20).

$$N_1 = \frac{30 \cdot 1,2 \cdot 458,4 \cdot 1}{1 \cdot 3720 \cdot 0,77} = 5,76,$$
$$N_2 = \frac{30 \cdot 1,2 \cdot 877,5 \cdot 1}{1 \cdot 3720 \cdot 0,81} = 10,48.$$

Исходя из полученных расчетов примем количество светильников аварийного освещения для первого цеха  $N_1 = 6$ , для второго цеха  $N_2 = 10$

Тогда число светильников в ряду в первом цеху:

$$N_{св.ряд} = \frac{N_{св}}{N_{ряд}} = \frac{5,76}{4} = 1,44$$

Число светильников в ряду во втором цеху:

$$N_{св.ряд} = \frac{N_{св}}{N_{ряд}} = \frac{10,48}{3} = 3,49$$

Таким образом для первого цеха принимаем равным:

$$N_{св.ряд} = 2, N_{св} = 8$$

Для второго цеха:

$$N_{св.ряд} = 4, N_{св} = 12$$

Найдем расстояние между светильниками в одном ряду по формулам (23) и (24).

Определим расстояние от первого светильника в первом цеху:

$$L_{ACT} = \frac{1}{2} \cdot \frac{18,7}{2} = 4,675$$

Определим расстояние от первого светильника во втором цеху:

$$L_{ACT} = \frac{1}{2} \cdot \frac{48,24}{4} = 6,03$$

Определим расстояние между светильниками в ряду в первом цеху:

$$L_{A.\Phi} = \frac{18,71 - 2 \cdot 4,675}{2 - 1} = 9,36$$

Определим расстояние между светильниками в ряду во втором цеху:

$$L_{A.\Phi} = \frac{48,24 - 2 \cdot 6,03}{4 - 1} = 12,06$$

Активная установленная мощность освещения:

$$P_{уст} = N \cdot P_{o.n.} \text{ кВт.} \quad (25)$$

где  $P_{o.n.}$  – мощность лампы 200 Вт.

Светодиодные светильники в цехах каждой функциональной группы одинаковые. Поэтому найдем мощности каждой из групп и просуммируем их для определения полной мощности.

$$P_{раб} = (N_{раб.ц1} + N_{раб.ц2}) \cdot 60 = 1,92 \text{ кВт,}$$

$$P_{авар} = (N_{авар.ц1} + N_{авар.ц2}) \cdot 30 = 0,6 \text{ кВт,}$$

$$P_{уст} = P_{раб} + P_{авар} = 6,4 + 0,6 = 2,52 \text{ кВт.}$$

Реактивная установленная мощность освещения в двух цехах:

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \text{tg}\phi, \text{ кВАр.} \quad (26)$$

где  $\text{tg}\phi = 0,25$  для светодиодных ламп.



$$Q_{осв} = 2,52 \cdot 0,25 = 0,63 \text{ кВАр.}$$

Определим полную мощность освещения:

$$S_{осв} = \sqrt{P_{осв}^2 + Q_{осв}^2}, \text{ кВА} \quad (27)$$

$$S_{осв} = \sqrt{2,52^2 + 0,63^2} = 2,6, \text{ кВА}$$

Схема размещения осветительных приборов по территории цеха представлена на рисунке 2.

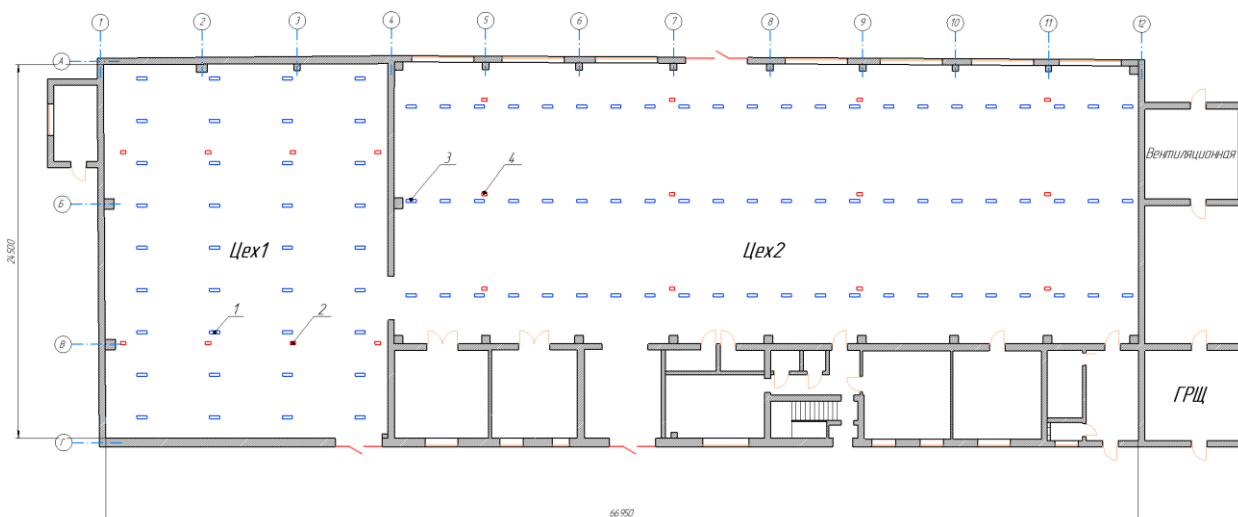


Рисунок 2 – Размещения осветительных приборов по территории цеха

#### 4.4 Расчет общей суммарной нагрузки цехов с учетом освещения

После расчёта мощности освещения, определим общую суммарную нагрузку цеха, добавив мощность освещения к уже рассчитанной мощности цеха из предыдущей главы. Для этого необходимо суммировать мощность основного оборудования и мощность системы освещения в каждом цехе. Очевидно, что мощность освещения цехов, будет незначительна по сравнению с мощностью основного оборудования, однако данный расчёт необходимо выполнить так как общая суммарная нагрузка будет влиять на дальнейший выбор как силового трансформатора так и оборудования защиты.

$$P_{\Sigma.цеха} = P_{max.цеха} + P_{осв} \quad (28)$$

$$P_{\Sigma.цеха} = 469 + 2,52 = 471,52 \text{ кВт},$$

$$Q_{\Sigma.цеха} = Q_{max.цеха} + Q_{осв} \quad (29)$$

$$Q_{\Sigma.цеха} = 341,477 + 0,63 = 342,1 \text{ кВАр}.$$

Выполнив расчёт общей активной и реактивной мощности, рассчитаем полную расчетную мощность с учетом освещения:

$$S_{\Sigma.цеха} = \sqrt{P_{\Sigma.цеха}^2 + Q_{\Sigma.цеха}^2} \text{ кВА}, \quad (30)$$

$$S_{\Sigma.цеха} = \sqrt{471,52^2 + 342,1^2} = 582,55 \text{ кВА}.$$

Расчетный ток цеха с учетом освещения:

$$I_{\Sigma.цеха} = \frac{S_{\Sigma.цеха}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \text{ А}, \quad (31)$$

$$I_{\Sigma.цеха} = \frac{582,55}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 840,83 \text{ А}.$$

Выполненный в данном пункте расчёт освещения, обеспечит отличную освещенность рабочих зон на предприятии, а использование качественных светодиодных ламп позволяет добиться не только равномерного освещения без мерцания, но также обеспечит экономию электроэнергии и долговечность.

Выводы по разделу.

В данном пункте работы выполнен расчёт рабочего и аварийного освещения, а также определена суммарная нагрузка цеха с учетом мощности, потребляемой светильниками. Расчет выполнялся с использованием справочной литературы [3] и слегка повышенными требованиями к качеству освещения, так как предприятие в своем производственном цикле изготавливает изделия высокой точности.

## 5 Выбор компенсирующего устройства

Так как на промышленном предприятии используется нагрузка с коэффициентом мощности от 0,5-0,8 и с напряжением питания 0,4 кВ, то реактивная энергия в такой сети приведет к увеличению мощности трансформатора и к увеличению потерь [18]. Такие потери можно устранить, используя компенсацию реактивной мощности.

Так как реактивная мощность на предприятии носит в основном индуктивный характер, то для компенсации реактивной мощности необходимо использовать компенсирующие устройства на основе конденсаторных батарей. Технические характеристики компенсирующего устройства определяются заводом изготовителем. Подключение компенсирующих устройств рекомендуется выполнять к шинам цеховой подстанции.

Определим мощность компенсирующего устройства по формуле:

$$Q_{KY} = \alpha \cdot P_{\Sigma.цеха} \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_k), кВАр \quad (32)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий повышение  $\cos\varphi$  естественным образом до  $\alpha = 0,9$ ,

$tg\varphi_1$  – тангенс угла, до компенсации.

Данный коэффициент определяется по формуле:

$$tg\varphi_1 = \frac{Q_{\Sigma.цеха}}{P_{\Sigma.цеха}} \quad (33)$$

где  $tg\varphi_k$  – тангенс угла, после компенсации. Согласно опытным данным компенсацию проводят до достижения значения  $\cos\varphi = 0,92 - 0,95$ .

В данной работе будем проводить компенсацию до достижения  $\cos\varphi = 0,95$ . В таком случае  $tg\varphi_k = 0,33$ .

Выполним расчет  $tg\phi_1$  по формуле [7]:

$$tg\phi_1 = \frac{342,1}{471,52} = 0,73,$$

$$Q_{KV} = 0,9 \cdot 342,1 \cdot (0,73 - 0,33) = 123,156 \text{ кВАр}.$$

По полученным характеристикам выбираем компенсирующее устройство типа КРМТ-0,4-150-25У3. Мощность компенсирующего устройства  $Q_{KV} = 150$  кВАр. Полная расчетная мощность цеха с учетом компенсирующего устройства:

$$S_{\Sigma.цеха} = \sqrt{P_{\Sigma.цеха}^2 + (Q_{\Sigma.цеха} - Q_{KV})^2}, \quad (34)$$

$$S_{\Sigma.цеха} = \sqrt{471,52^2 + (342,1 - 150)^2} = 509,15 \text{ кВА}.$$

Рассчитаем ток с учетом установленного компенсирующего устройства:

$$I_{\Sigma.цеха} = \frac{S_{\Sigma.цеха}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \text{ А}, \quad (35)$$

$$I_{\Sigma.цеха} = \frac{509,15}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 734,9 \text{ А}.$$

На рисунке 3 представлена схема подключения компенсирующих устройств.

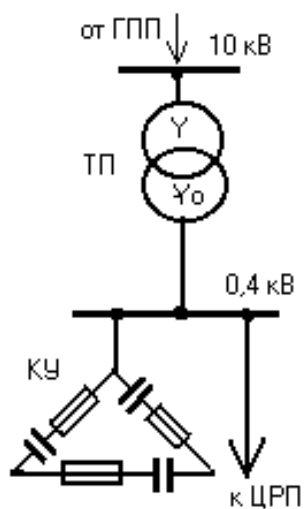


Рисунок 3 – Схема подключения компенсирующих устройств

Выводы по разделу

Выбор и установка КУ позволяет существенно снизить реактивную мощность. Это позволяет предприятию не только экономить на оплате электроэнергии, но и в некоторых случаях позволяет использовать провода меньшего сечения для организации электроснабжения. Сама КУ не занимает много места на предприятии и практически не требует обслуживания.

## 6 Расчет мощности понижающих трансформаторов и типа ТП

Выбор числа и мощности трансформаторов на предприятии производится с учетом различных требований. В основном это определяется величиной и характером электрических нагрузок, включающих в себя такие требования как надежность и характер потребления электроэнергии. Необходимо также учитывать такие параметры как состояние окружающей среды, место установки трансформатора и его систему охлаждения.

Наше предприятие не является крупным и на нем преобладают потребители 3й категории надежности. Климатическая зона в области расположения предприятия отличается мягкой зимой и довольно прохладным летом со среднегодовой температурой не выше 10 градусов Цельсия. В таких условиях целесообразно использовать трансформаторную подстанцию киоскового типа с одним трансформатором. При выборе мощности трансформаторной подстанции так же будет учтён фактор возможного расширения производства и как следствие увеличение потребляемой мощности.

У учетом установленной КУ полная мощность цеха составляет  $S_{\Sigma, \text{цеха}} = 513,743 \text{ кВА}$ . С учетом возможного расширения производства и увеличением потребления, а также согласно ГОСТ 14074-76 выбираем масляный трансформатор модели ТМ-630/10/0,4. Исходя из этого модель трансформаторной подстанции киоскового типа следующая – КТПК 630/10/0,4 Т-КК УХЛ1.

Данная трансформаторная подстанция представляет собой сварную металлическую конструкцию, которая состоит из основания и боковых стенок (габариты в таблице 4). Основание выполнено из профильного проката. На каркасе подстанции размещаются боковые панели и створки ворот. В данной ТП размещаются следующие отсеки: отсек устройства ВН, отсек с силовым трансформатором, отсек распределительного устройства НН.

В отсеке высокого напряжения в КТПК установлена сборная камера одностороннего обслуживания, которая предназначена для приема и распределения электроэнергии, выключатель нагрузки ВМП-16 с типом привода ПР-17, а также разъединитель РВЗ-10 с дистанционным управлением. Внешний вид КТПК 630/10/0,4 Т-КК УХЛ1 представлен на рисунке 4.

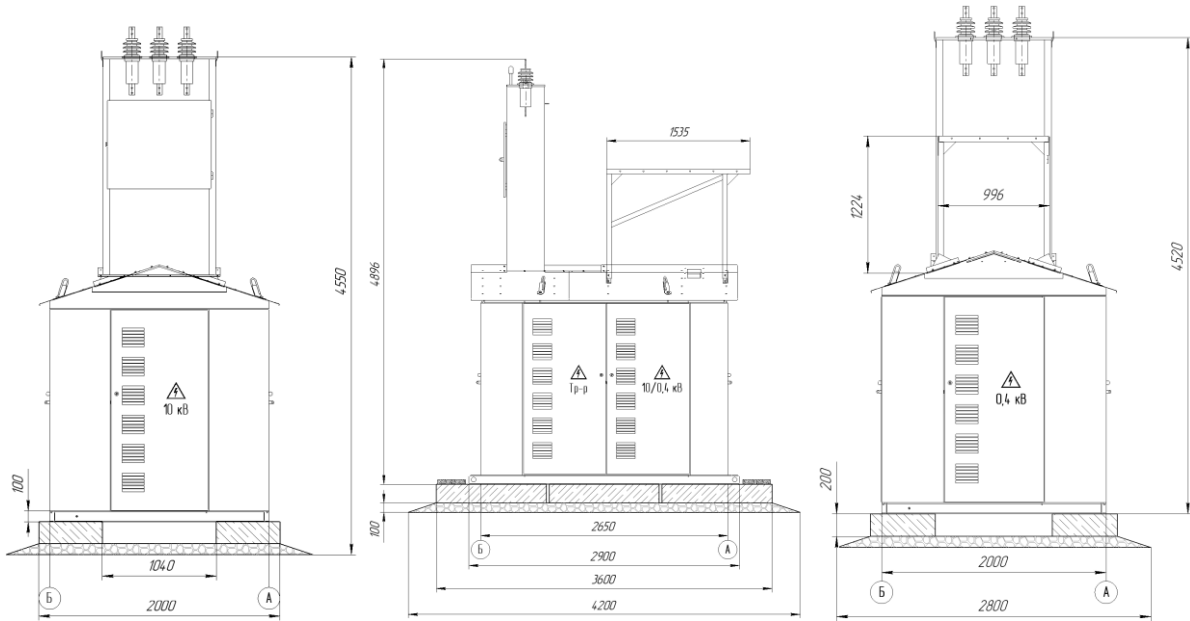


Рисунок 4 – Внешний вид трансформаторной подстанции

Таблица 4 – Габаритные размеры трансформаторной подстанции

Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм
3900	2000	4896

Основные технические характеристики трансформатора:

1. Номинальная мощность трансформатора  $S_{ном.тр} = 630 \text{ кВА}$ ;
2. Схема соединения  $Y/Y_0$ ;
3. Потери мощности при коротком замыкании  $\Delta P_{к.з.} = 7,6 \text{ кВт}$ ;
4. Потери мощности холостого хода  $\Delta P_{х.х.} = 1,16 \text{ кВт}$ ;
5. Ток холостого хода  $I_{хх} = 0,8\%$ ;
6. Напряжение короткого замыкания  $U_{к.з} = 5,5\%$ ;

7. Однофазное сопротивление трансформатора  $Z_T' = 205 \text{ мОм}$ ;

Для проверки выбранного трансформатора определим его коэффициент загрузки по формуле:

$$K_{з.тр} = \frac{S_{р.тр}}{S_{ном.тр}} \quad (36)$$
$$K_{з.тр} = \frac{509,15}{630} = 0,8$$

Коэффициент загрузки находится в пределах  $0,6 < 0,8 < 0,9$ , что удовлетворяет необходимому условию по выбору трансформатора.

Выводы по разделу.

Выбранный тип КТПК полностью подходит для организации электроснабжения предприятия. Такой тип КТПК позволяет уменьшить время, требуемое на монтаж оборудования и упростить обслуживание. Выбранный, по результатам расчётов, трансформатор полностью обеспечит потребность в электроснабжении предприятия, даже с учётом планов на дальнейшее увеличение потребляемой мощности.



## **7 Выбор схемы эл. снабжения и расчет параметров эл. сети**

Выбор схемы для распределения электроэнергии на низком напряжении является основным вопросом при проектировании систем электроснабжения предприятия. Правильно выбранная схема обеспечит надежность подачи питания к электроприемникам, а также позволяет рационально использовать технико-экономические ресурсы, выделенные на проектирование и строительство предприятия.

Сети, используемые на стороне низкого напряжения, на предприятиях бывают магистральными и радиальными.

Пожалуй, основное отличие данных схем в том, что при использовании радиальной схемы мощные электроприемники могут получать питание непосредственно от подстанции, тогда как остальные электроприемники объединены в группы и получают питания от распределительных пунктов. При магистральной схеме целесообразно всех потребителей подключать непосредственно к питающей магистрали, однако, допускается использовать распределительные пункты для подключения групп нагрузок. На предприятиях часто используются смешанные схемы, когда питание от трансформаторной подстанции для разных цехов идет по магистралям до распределительных пунктов. Далее непосредственно на распределительном пункте цеха посредством коммутационного оборудования, по радиальным линиям получают питание электроприемники цеха. Так как на данном предприятии всего два небольших цеха, которые объединены одним зданием, фактически являющиеся одним большим цехом, будем использовать радиальную схему электроснабжения [18]. За распределение нагрузки по электроприемникам будет отвечать главный распределительный щит, куда от трансформаторной подстанции приходит фидер питания. Отдельные особо мощные потребители получают питание от ГРЩ, но на отходящих к ним линиях питания не присутствуют другие потребители.

Пример внутрицеховой системы электроснабжения приведен на схеме на рисунке 5.

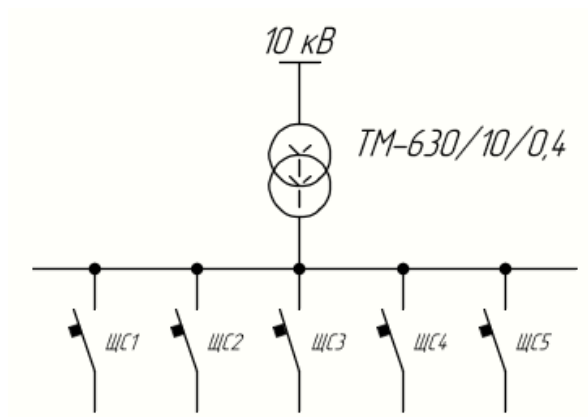


Рисунок 5 – Пример схемы внутрицеховой сети

Выводы по разделу.

Выбранная схема организации системы электроснабжения позволяет обеспечить высокую надежность системы, а также при необходимости проводить ремонт, замену или установку нового оборудования. ГРЩ позволяет оперативно контролировать и при необходимости отключать с целью замены, ремонта или внештатной ситуации только определенный электроприемник, без существенного влияния на работу остальных.

## **8 Главный распределительный щит и силовые щиты предприятия**

Для организации и контроля питания каждого мощного электроприемника или группы небольших электроприемников существует главный распределительный щит предприятия (ГРЩ). На данном щите, при помощи отдельных ячеек, снабженных автоматическими выключателями, обеспечивается коммутация оборудования, осуществляется контроль за определенными параметрами электроснабжения и защита электроприемников от коротких замыканий. Распределение электроэнергии осуществляется при помощи медных или алюминиевых шин, к которым подключено необходимое количество ячеек. Данное оборудование выпускается в виде закрытых шкафов, что обеспечивает безопасность нахождения людей в помещении, так как исключается случайное касание человека к токоведущим частям.

В качестве главного распределительного щита на предприятии используется ГРЩ-800А. От главного распределительного щита по кабельным линиям электроснабжение приходит к силовым щитам, расположенным в цеху. Силовые щиты мощных электроприемников расположены непосредственно вблизи данных потребителей. Шкафы освещения и группы маломощных потребителей расположены в легкодоступном месте на одной из стен внутри здания [17]. В качестве силовых шкафов электроприемников используются СЩ типа ПР8501-149.

### **Выводы по разделу**

Выбранные ГРЩ и ЩС полностью согласуются с выбранным силовым трансформатором по мощности. ГРЩ обладает достаточной мощностью, чтобы обеспечить распределение питания на ЩС и выполнять защиту отходящих линий, не снижая чувствительности и селективности защиты группы ЩС.

## 9 Выбор типа и сечения проводников

### 9.1 Расчёт рабочих токов

С учетом наличия систем кондиционирования и вентиляции окружающая среда на предприятии нормальная. Поэтому для последующих расчетов принимаем температуру внутри цехов равной 25° С. Расчет сечения и выбор проводника для примера выполним для одного ЭП. Для всех остальных расчёт выполняется идентично. Данные расчетов запишем в таблицу 5. Для определения сечения проводников от электроприемников находим их расчетные токи по формуле:

$$I_{pi} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} \quad (37)$$

где  $P_n$  – номинальная мощность ЭП, кВт,

$U_n$  – номинальное напряжение сети,  $U_n = 380$  В,

$\cos \varphi_n$  – номинальный коэффициент мощности электроприемника,

$\eta_n$  – номинальный КПД двигателя.

На электрооборудовании используются различные типы двигателей и реализованы различные системы управления ими. Таким образом современные станки для обработки металла имеют в своем распоряжении системы частотного регулирования вращением приводов. Следовательно пусковые токи для таких станков не будут значительными. Менее автоматизированные станки не имеют в своем составе таких устройств и для расчета к ним будут применяться стандартные коэффициенты для расчета пусковых токов. Для ЭП, у которых отсутствует электродвигатель или невозможно определить его параметры, для расчета будет использована номинальная мощность. Стоит отметить, что практически всё современное оборудование, в котором присутствуют асинхронные двигатели, имеет

возможность частотного регулирования вращения двигателя или как минимум систему плавного пуска. Это стало возможным благодаря появлению мощных и относительно недорогих IGBT транзисторов. Основным недостатком такой системы является создание помех в общей сети питания. Однако данная проблема успешно решается путем установки соответствующих фильтров.

В качестве примера рассчитаем электроприемник из таблицы с исходными данными. Мощность установки гидроабразивной резки:  $P_n = 22$  кВт;  $\cos \varphi = 0,8$ ;  $\eta_n = 0,88$ . Определим рабочий и пусковой токи с учетом известных данных по формулам (35) и (36):

$$I_{p3} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,88} = 45 \text{ A},$$

Пусковой ток двигателя определяем по формуле:

$$I_{n3} = I_{p3} \cdot K_{n3} \quad (38)$$

$$I_{n3} = 45 \cdot 4,2 = 190,95$$

Для установки гидроабразивной резки кратность пускового тока равно 4,2. Это обусловлено тем, что установка имеет в своем составе устройства плавного пуска и частотного регулирования.

Параметры оставшихся ЭП рассчитаем таким же образом. Полученные данные запишем в таблицу 5.

Таблица 5 – Расчетные данные для выбора сечения проводников

Наименование	Ед.	$P_{ном}$ кВт	$\cos \varphi$	КП Д $\eta_n$	Кратн. пуск. тока $K_p$	Расч. ток $I_p$	Пуск. ток $I_n$
Установка гидроабразивной резки	1	22	0,8	0,88	4,2	45	190,9 5

Продолжение таблицы 5

Наименование	Ед.	$P_{\text{ном}}$ кВт	$\cos\phi$	КП $D \eta_{\text{п}}$	Кратн. пуск. тока $K_{\text{п}}$	Расч. ток $I_{\text{р}}$	Пуск. ток $I_{\text{п}}$
Установка газопламенного напыления	1	25	0,8	0,9	7	48	336
Установка керамического напыления	1	25	0,8	0,9	7	48	336
Воздушный компрессор	2	11	0,85	0,89	6	20,9	125,7
Тельфер	1	4,5	0,5	0,81	6	9	54
Станок плоскошлифовальный 540	1	7,5	0,5	0,95	6,5	22,7	147
Круглошлифовальный станок РЦМ 2500	1	15	0,5	0,87	7,5	50	375
Станок токарно-винторезный СТ16К25Б	1	10	0,5	0,95	7,0	30,3	212
Станок сверлильный 2Н125	1	6	0,5	0,95	7,0	18,2	127,7
Универсальный фрезерный станок NSM-T	1	10	0,5	0,95	7,0	30,3	212
Токарный станок с ЧПУ СТ16А 25/1000	1	15	0,55	0,87	6,5	45	294
Вертикально фрезерный станок с ЧПУ SMEC PCV 400	1	26	0,6	0,92	6,5	65,9	293,5
Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ MB 56 VA	1	37	0,93	0,88	4,5	65	292,1
Токарно-фрезерный обрабатывающий центр Multus B 400W	1	75	0,55	0,98	3,1	200	624,3
Токарный станок с ЧПУ Smec	1	40	0,65	0,92	5,3	96,3	515,2
Токарный станок с ЧПУ DTM6	1	20	0,9	0,94	5,5	34	187
Станок электроэрозионный прошивной 7170	1	12	0,6	0,92	6,5	29,5	162,3
Станок электроэрозионный проволочный DK7780	1	5	0,6	0,93	5,2	13	67,1
Станок токарный 16к20	1	11	0,62	0,91	6,5	28	182
Станок токарно-карусельный CX5116	1	40	0,65	0,92	6,5	97	630
Фрезерный станок 6P82	1	7,5	0,7	0,81	6,5	19,2	125
Фрезерный станок 6P12	1	7,5	0,7	0,81	6,5	19,2	125
Зубофрезерный станок 7417	1	3,4	0,7	0,88	7,0	8	56
Зубофрезерный станок	1	7,5	0,7	0,91	6,5	17	110
Зубофрезерный станок 5D32	1	2,8	0,7	0,89	6,5	6,5	42
Лентопил S200R	1	1,5	0,6	0,82	6,5	4,4	28,5

Продолжение таблицы 5

Наименование	Ед.	$P_{ном}$ кВт	$\cos\phi$	КП $D \eta_{п}$	Кратн. пуск. тока $K_{п}$	Расч. ток $I_p$	Пуск. ток $I_{п}$
Лентопил НВ 250М	1	1,5	0,6	0,82	6,5	4,4	28,5
Насос	9	0,8	0,8	0,85	7,0	1,7	11,9
Электронагреватель	1	8	1	0,98	-	11,8	-
Блоки силовых розеток первого цеха	5	6	0,8	-	-	8,6	-
Блоки силовых розеток второго цеха	3	6	0,8	-	-	8,6	-
Ворота	3	0,8	0,8	0,96	7,1	1,5	10,6
Вентиляционная система цеха	1	40	0,65	0,93	2,6	95	250
Приточно-вытяжная установка ПВ1	1	8	0,7	0,62	3,7	26,7	100
Приточно-вытяжная установка ПВ2	1	28,5	0,7	0,77	3,7	76,1	280
Воздушно отопительный агрегат 1го цеха	4	0,28	0,7	0,89	6,5	0,65	4,2
Воздушно отопительный агрегат 2го цеха	10	0,28	0,7	0,89	6,5	0,65	4,2
Освещение рабочее 1го цеха	36	0,06	-	0,98	-	0,027	-
Освещение рабочее 2го цеха	66	0,06	-	0,98	-	0,027	-
Освещение аварийное	11	0,03	-	0,98	-	0,013	-
Освещение аварийное	17	0,03	-	0,98	-	0,013	-

## 9.2 Выбор питающего кабеля

После расчета рабочих токов ЭП, необходимо выбрать питающий кабель определенной марки и сечения жил. Выбор сечения кабеля необходимо проводить используя следующее условие:  $I_{доп} > I_p$ . Для запитывания всех электроустановок будем использовать кабель марки ВВГнг(А)-LS – это кабель с медными жилами, с изоляцией и оболочкой из поливинилхлоридного пластиката пониженной пожарной опасности, не распространяющий горение при групповой прокладке по категории А с пониженным дымо- и газовыделением. Данный кабель можно использовать для прокладки, с учетом объема горючей нагрузки, во внутренних электроустановках, а также в зданиях,

сооружениях и закрытых кабельных сооружениях. В качестве примера для первого электроприемника выберем кабель ВВГнг(А)-LS-5х16мм<sup>2</sup>.  $I_{доп}$  данного кабеля равен 78, это больше рассчитанного рабочего тока равного 48 А. Следовательно кабель пригоден для использования. Следует учесть, что кабель для систем рабочего и аварийного освещения будет использоваться трехжильных так как питание ламп осуществляется напряжением с величиной 220В. Для организации подключения светильников, они будут разбиваться на группы. Длина участка указанная в таблице будет отражать расстояние до светильника от минимального до максимального. Для каждой группы в щите освещения будут предусмотрены автоматические выключатели. Кабель от автоматического выключателя будет доходить до соединительной коробки, расположенной на потолке и оттуда, кабелем меньшего сечения расходится до каждого светильника. В таблице будут указаны сечения и токи для двух кабелей, на группу и на каждый светильник. Данное упрощение считаю уместным поскольку это никак не повлияет на расчет мощности и выбор кабелей питания как для освещения, так и для основного оборудования.

Для остальной нагрузки сечение кабеля выбирается согласно приведенному примеру для ЭП1. Все полученные после расчета данные заносим в таблицу 6.

Таблица 6 – Выбор кабеля согласно мощности ЭП

Группа ЭП	Мощн. ЭП, Р кВт	Расч. ток, $I_p$ А	Марка кабеля	Допустимый ток, $I_{доп}$ А	Сечение провода, F мм <sup>2</sup>	Длина участка, L м
ЩС-1						
ЩС1-ЭП1	22	45	ВВГнг(А)-LS	78	16	36
ЩС1-ЭП2	25	48	ВВГнг(А)-LS	104	25	52
ЩС1-ЭП3	25	48	ВВГнг(А)-LS	104	25	59
ЩС1-ЭП4	11	20,9	ВВГнг(А)-LS	78	16	43,45
ЩС1-ЭП5	4,5	9	ВВГнг(А)-LS	42	6	15



Продолжение таблицы 6

Группа ЭП	Мощн. ЭП, Р кВт	Расч. ток, I <sub>p</sub> А	Марка кабеля	Допустимый ток, I <sub>доп</sub> А	Сечение провода, F мм <sup>2</sup>	Длина участка, L м
ЩС-2						
ЩС2-ЭП6	7,5	22,7	ВВГнг(А)-LS	78	16	39
ЩС2-ЭП7	15	50	ВВГнг(А)-LS	104	25	35
ЩС2-ЭП8	10	30,3	ВВГнг(А)-LS	58	10	33
ЩС2-ЭП9	6	18,2	ВВГнг(А)-LS	33	4	12
ЩС2-ЭП10	10	30,3	ВВГнг(А)-LS	58	10	10
ЩС-3						
ЩС3-ЭП11	15	45	ВВГнг(А)-LS	104	25	46
ЩС3-ЭП12	26	65,9	ВВГнг(А)-LS	104	25	27
ЩС3-ЭП13	37	40,62	ВВГнг(А)-LS	127	35	42
ЩС-4						
ЩС4-ЭП14	75	200	ВВГнг(А)-LS	280	120	49
ЩС-5						
ЩС5-ЭП15	40	96,3	ВВГнг(А)-LS	127	35	27
ЩС5-ЭП16	20	34	ВВГнг(А)-LS	78	16	27
ЩС5-ЭП17	12	29,5	ВВГнг(А)-LS	58	10	15
ЩС5-ЭП18	5	13	ВВГнг(А)-LS	42	6	17
ЩС-6						
ЩС6-ЭП19	11	28	ВВГнг(А)-LS	58	10	18
ЩС6-ЭП20	40	97	ВВГнг(А)-LS	127	35	15
ЩС-7						
ЩС7-ЭП21	7,5	19,2	ВВГнг(А)-LS	42	6	17
ЩС7-ЭП22	7,5	19,2	ВВГнг(А)-LS	42	6	20
ЩС7-ЭП23	3,4	8	ВВГнг(А)-LS	33	4	23
ЩС7-ЭП24	7,5	17	ВВГнг(А)-LS	42	6	27
ЩС7-ЭП25	2,8	6,5	ВВГнг(А)-LS	33	4	32
ЩС7-ЭП26	1,5	4,4	ВВГнг(А)-LS	33	4	38
ЩС7-ЭП27	1,5	4,4	ВВГнг(А)-LS	33	4	48

Продолжение таблицы 6

Группа ЭП	Мощн. ЭП, Р кВт	Расч. ток, I <sub>p</sub> А	Марка кабеля	Допустимый ток, I <sub>доп</sub> А	Сечение провода, F мм <sup>2</sup>	Длина участка, L м
ЩС-8						
ЩС8-ЭП28	0,8	1,7	ВВГнг(А)-LS	25	2,5	9-14
ЩС8-ЭП29	8	11,8	ВВГнг(А)-LS	42	6	7
ЩС-9						
ЩС9-ЭП30	6	8,6	ВВГнг(А)-LS	33	4	10-50
ЩС-10						
ЩС10-ЭП31	6	8,6	ВВГнг(А)-LS	33	4	6-13,5
ЩС-11						
ЩС11-ЭП32	0,8	1,5	ВВГнг(А)-LS	25	2,5	20,32,42
ЩС-12						
ЩС12-ЭП33	40	95	ВВГнг(А)-LS	127	35	70
ЩС-13						
ЩС13-ЭП34	8	26,7	ВВГнг(А)-LS	104	25	47,5
ЩС13-ЭП35	28,5	76,1	ВВГнг(А)-LS	127	35	77
ЩС-14						
ЩС14-ЭП36	0,28	0,65	ВВГнг(А)-LS	25	2,5	50-75
ЩС14-ЭП37	0,28	0,65	ВВГнг(А)-LS	25	2,5	15-42
ЩО-1						
ЩО1-ЭП38	0,06	0,027	ВВГнг(А)-LS	25	2,5/4	13,5-31
ЩО1-ЭП39	0,06	0,027	ВВГнг(А)-LS	25	2,5/4	5,5-54
ЩОА1						
ЩОА1-ЭП40	0,03	0,013	ВВГнг(А)-LS	25	2,5	13,5-31
ЩОА1-ЭП41	0,03	0,013	ВВГнг(А)-LS	25	2,5	5,5-54

Сечение кабеля, приходящего в ЩС от ГРЩ выбираем с учетом полной мощности, подключенной к ЩС.

Например, для ЩС суммарная мощность подключенных к ней потребителей составляет 98,5 кВт, принимаем общий для данной группы

$\cos\varphi = 0,8$ . В таком случае рабочий ток составит 178 А. Таким образом для данного ЩС выбираем кабель ВВГнг(А)-LS-5х95мм<sup>2</sup>. Сечение кабеля для остальных ЩС выбираем аналогично [6]. Все проводники принадлежат к одной марки кабеля, что положительно скажется на дальнейшей эксплуатации. Полученные данные занесем в таблицу 7.

Таблица 7 – Выбор кабеля согласно мощности ЩС

Участок сети	Расчетный ток I, А	Сечение провода F, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток I <sub>доп</sub> , А	Марка кабеля	Длина участка L, м
ГРЩ-ЩС1	178	95	242	ВВГнг(А)-LS	74
ГРЩ-ЩС2	140	95	242	ВВГнг(А)-LS	80
ГРЩ-ЩС3	160	120	280	ВВГнг(А)-LS	39
ГРЩ-ЩС4	200	120	280	ВВГнг(А)-LS	39
ГРЩ-ЩС5	158	95	242	ВВГнг(А)-LS	41
ГРЩ-ЩС6	113	70	195	ВВГнг(А)-LS	75
ГРЩ-ЩС7	68	25	104	ВВГнг(А)-LS	49
ГРЩ-ЩС8	24	16	78	ВВГнг(А)-LS	39
ГРЩ-ЩС9	48	25	104	ВВГнг(А)-LS	39
ГРЩ-ЩС10	28	16	78	ВВГнг(А)-LS	56
ГРЩ-ЩС11	4	4	33	ВВГнг(А)-LS	39
ГРЩ-ЩС12	95	35	127	ВВГнг(А)-LS	70
ГРЩ-ЩС13	75	35	127	ВВГнг(А)-LS	39
ГРЩ-ЩС14	9	4	33	ВВГнг(А)-LS	39
ГРЩ-ЩО	9	10	58	ВВГнг(А)-LS	39
ГРЩ-ЩОА	1,2	4	33	ВВГнг(А)-LS	49

Выводы по разделу.

Выбранные проводники обеспечивают надежную передачу тока к потребителям. Преимуществом выбранного типа кабеля, является его относительная дешевизна при обеспечении хорошей пожарной безопасности.

## 10 Проверка системы электроснабжения на потери напряжения

В связи с тем, что асинхронные электродвигатели в момент пуска потребляют значительный ток, на зажимах электродвигателя происходит падение напряжение. Для нормального функционирования системы электроснабжения, потери напряжения не должны превышать установленных значений. Определить величину потерь напряжения можно по формуле:

При пуске АД в сети происходит снижение напряжения на его зажимах. При этом необходимо определить допустимые потери напряжения для нормальной работы всех ЭП.

Проверка сетей по потери напряжения производится по формуле:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot (r_0 \cdot \cos \phi_n + x_0 \cdot \sin \phi_n) \quad (39)$$

где  $I_p$  – расчетный ток, который указан в таблице 5, А,

$L$  – длина линии электроснабжения, указанная в таблице 5 и таблице 6, м,

$r_0$  – активное сопротивление проводника, можно определить по данным завода изготовителя кабеля или справочным данным, мОм/м,

$\cos \phi_n$  – коэффициент мощности исследуемого ЭП, указан в таблице 4,

$x_0$  – индуктивное сопротивление проводника, можно определить по данным завода изготовителя кабеля или справочным данным, мОм/м [2].

Относительные потери напряжения в % можно определить по формуле:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_{ном}} \cdot 100\% \quad (40)$$

Так как расчет потерь напряжения идентичен для всех ЭП, имеющихся на предприятии, то в качестве примера рассчитаем потери напряжения на участке ЩС2-ЭП1 для одного электроприемника и потери для всего ЩС1 на участке ГРЩ-ЩС2. В качестве напряжения питания, как и во всей работе будет использовано значение 400 В, согласно ГОСТ 29322-2014. Данные для расчетов потерь напряжения светильников будут указаны для двух сечений кабеля. Первое сечение непосредственно от соединительной коробки до светильника и второе от ЩО (ЩОА) до группы светильников.

Выполним расчёт потерь на участке ЩС1-ЭП6.

Исходные данные для расчета:

$$I_{p1} = 22,7 \text{ A}; L = 39 \text{ м}; \cos\varphi = 0,5; \sin\varphi = 0,87,$$

$$R_0 = 1,16 \frac{\text{МОм}}{\text{м}}; X_0 = 0,0675 \frac{\text{МОм}}{\text{м}},$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 22,7 \cdot 39 \cdot (0,5 \cdot 1,16 + 0,87 \cdot 0,0675) \cdot 10^{-3} = 0,978 \text{ В},$$

$$\Delta U_{\%PP-ЭП1} = \frac{0,978}{400} \cdot 100 = 0,244\%.$$

Выполним расчёт потерь на участке ГРЩ-ЩС2. Такие параметры как  $\cos\varphi$ ,  $\sin\varphi$  для участка будем брать средние для группы ЭП входящих в состав ЩС. Исходные данные для расчёта:

$$I_{p1} = 140 \text{ A}; L = 80 \text{ м}; \cos\varphi = 0,5; \sin\varphi = 0,87,$$

$$R_0 = 0,195 \frac{\text{МОм}}{\text{м}}; X_0 = 0,0602 \frac{\text{МОм}}{\text{м}},$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 140 \cdot 80 \cdot (0,5 \cdot 0,22 + 0,06 \cdot 0,86) \cdot 10^{-3} = 0,708 \text{ В},$$

$$\Delta U_{\%ТП-ПП1} = \frac{0,53}{380} \cdot 100 = 0,18\%.$$

Исходя из практики проектирования и расчета систем электроснабжения добиваются значения потерь напряжения равного 1,5%, при норме 5%.

Согласно расчетам для ЩС1-ЭП6 и ГРЩ-ЩС2 потери напряжения составляют  $0,244\% < 1,5\%$  и  $0,18\% < 1,5\%$  соответственно. Данные значения потерь свидетельствуют о том, что расчеты, в том числе в предыдущих пунктах выполнены верно.

Все полученные данные запишем в таблицу 8.

Таблица 8 – Данные по расчёту потерь напряжения

Участок сети	Расчет. ток $I_p$	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	Длина участка L	Актив. сопр. $R_0$	Инд. сопр. $X_0$	Потери напр. $\Delta U$ тп-эп	Потери напр. $\Delta U$ тп-эп
	A			м	МОм/м	МОм/м	B	%
ГРЩ-ЩС1	178	0,75	0,66	74	0,195	0,0602	4,25	1,06
ГРЩ-ЩС2	140	0,5	0,87	80	0,195	0,0602	2,90	0,73
ГРЩ-ЩС3	160	0,69	0,72	39	0,154	0,0602	1,62	0,40
ГРЩ-ЩС4	200	0,55	0,84	39	0,154	0,0602	1,82	0,46
ГРЩ-ЩС5	158	0,68	0,73	41	0,195	0,0602	1,98	0,50
ГРЩ-ЩС6	113	0,635	0,77	75	0,265	0,0612	3,16	0,79
ГРЩ-ЩС7	68	0,67	0,74	49	0,74	0,0662	3,14	0,79
ГРЩ-ЩС8	24	0,9	0,44	39	1,16	0,0675	1,74	0,44
ГРЩ-ЩС9	48	1	0,00	39	0,74	0,0662	2,40	0,60
ГРЩ-ЩС10	28	1	0,00	56	1,16	0,0675	3,15	0,79
ГРЩ-ЩС11	4	0,8	0,60	39	4,63	0,095	1,02	0,25
ГРЩ-ЩС12	95	0,65	0,76	70	0,53	0,0637	4,53	1,13
ГРЩ-ЩС13	75	0,7	0,71	39	0,53	0,0637	2,11	0,53
ГРЩ-ЩС14	8	0,7	0,71	39	4,63	0,095	1,79	0,45
ГРЩ-ЩО	9	1	0,00	39	1,84	0,073	1,12	0,28
ГРЩ-ЩОА	1,2	1	0,00	49	4,63	0,095	0,47	0,12
ЩС1-ЭП1	45	0,8	0,60	36	1,16	0,0675	2,72	0,68
ЩС1-ЭП2	48	0,8	0,60	52	0,74	0,0662	2,73	0,68
ЩС1-ЭП3	48	0,8	0,60	59	0,74	0,0662	3,10	0,77

Продолжение таблицы 8

Участок сети	Расчет. ток $I_p$	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	Длина участка $L$	Актив. сопр. $r_0$	Инд. сопр. $x_0$	Потери напр. $\Delta U$ ТП-ЭП	Потери напр. $\Delta U$ ТП-ЭП
ЩС1-ЭП4	20,9	0,85	0,53	45	1,16	0,0675	1,66	0,42
ЩС1-ЭП5	9	0,5	0,87	15	3,09	0,09	0,38	0,09
ЩС2-ЭП6	22,7	0,5	0,87	39	1,16	0,0675	0,98	0,24
ЩС2-ЭП7	50	0,5	0,87	35	0,74	0,0662	1,30	0,32
ЩС2-ЭП8	30,3	0,5	0,87	33	1,84	0,073	1,70	0,43
ЩС2-ЭП9	18,2	0,5	0,87	12	4,63	0,095	0,91	0,23
ЩС2-ЭП10	30,3	0,5	0,87	10	1,84	0,073	0,52	0,13
ЩС3-ЭП11	45	0,55	0,84	46	0,74	0,0662	1,66	0,41
ЩС3-ЭП12	65,9	0,6	0,80	27	0,74	0,0662	1,53	0,38
ЩС3-ЭП13	65	0,93	0,37	42	0,53	0,0637	2,44	0,61
ЩС4-ЭП14	200	0,55	0,84	49	0,154	0,0602	2,29	0,57
ЩС5-ЭП15	96,3	0,65	0,76	27	0,53	0,0637	1,77	0,44
ЩС5-ЭП16	34	0,9	0,44	27	1,16	0,0675	1,71	0,43
ЩС5-ЭП17	29,5	0,6	0,80	15	1,84	0,073	0,89	0,22
ЩС5-ЭП18	13	0,6	0,80	17	3,09	0,09	0,74	0,18
ЩС6-ЭП19	28	0,62	0,78	18	1,84	0,073	1,05	0,26
ЩС6-ЭП20	97	0,65	0,76	15	0,53	0,0637	0,99	0,25
ЩС7-ЭП21	19,2	0,7	0,71	17	3,09	0,09	1,26	0,31
ЩС7-ЭП22	19,2	0,7	0,71	20	3,09	0,09	1,48	0,37
ЩС7-ЭП23	8	0,7	0,71	23	4,63	0,095	1,05	0,26
ЩС7-ЭП24	17	0,7	0,71	27	3,09	0,09	1,77	0,44
ЩС7-ЭП25	6,5	0,7	0,71	32	4,63	0,095	1,19	0,30
ЩС7-ЭП26	4,4	0,6	0,80	38	4,63	0,095	0,83	0,21
ЩС7-ЭП27	4,4	0,6	0,80	48	4,63	0,095	1,04	0,26
ЩС8-ЭП28	1,7	0,8	0,60	14	7,4	0,116	0,25	0,06
ЩС8-ЭП29	11,8	1	0,00	7	3,09	0,09	0,44	0,11
ЩС9-ЭП30	8,6	0,8	0,60	50	4,63	0,095	2,80	0,70
ЩС10-ЭП31	8,6	0,8	0,60	13,5	4,63	0,095	0,76	0,19

Продолжение таблицы 8

Участок сети	Расч. ток $I_p$	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	Длина участка $L$	Актив. сопрот. $r_0$	Инд. сопрот. $x_0$	Потеря напр. $\Delta U$ тп-эп	Потеря напр. $\Delta U$ тп-эп
ЩС11-ЭП32	1,5	0,8	0,60	42	7,4	0,116	0,65	0,16
ЩС12-ЭП33	95	0,65	0,76	70	0,53	0,0637	4,53	1,13
ЩС13-ЭП34	26,7	0,7	0,71	47,5	0,74	0,0662	1,24	0,31
ЩС13-ЭП35	76,1	0,7	0,71	77	0,53	0,0637	4,23	1,06
ЩС14-ЭП36	0,65	0,7	0,71	75	7,4	0,116	0,44	0,11
ЩС14-ЭП37	0,65	0,7	0,71	42	7,4	0,116	0,25	0,06
ЩО1-ЭП38	0,027	1	0,00	31	7,4	0,116	0,01	0,00
ЩО1-ЭП39	0,027	1	0,00	54	7,4	0,116	0,02	0,00
ЩОА1-ЭП40	0,013	1	0,00	31	7,4	0,116	0,01	0,00
ЩОА1-ЭП41	0,013	1	0,00	54	7,4	0,116	0,01	0,00

Выводы по разделу.

По результатам вычислений максимальное значение  $\Delta U_{\%}$  составляет 1,13% что меньше 5%, и меньше 1,5%. Можно сделать вывод что сечения проводов кабельных линий, выбраны верно и потери напряжения находятся в допустимых пределах.



## 11 Проверка сети по колебанию напряжения при запуске ЭД

Запуск мощных электродвигателей входящих в состав оборудования предприятия, как уже было сказано выше, вызывает снижение напряжения на клеммах оборудования. В случае большого пускового тока и неправильно выбранной кабельной связи, напряжение на клеммах ЭД может значительно снизиться и запуск двигателя будет невозможен. Для определения величины колебания напряжения при запуске ЭД в данном пункте проведем расчёт данной величины. Стоит отметить, что некоторые современные установки, в том числе используемые в данной работе, имеют в своем составе устройства частотного управления вращением асинхронного двигателя, включающие в себя и функции плавного пуска. Данные устройства значительно снижают пусковые токи. В таблице наличие таких устройств можно определить по небольшому значению коэффициента кратности пускового тока. Расчет для определения колебания напряжения производится для электродвигателей мощностью больше  $P_{ном} \geq 11 \text{ кВт}$ . При проведении расчетов будем руководствоваться установленной мощностью оборудования, т.е. проведем расчет для всего имеющегося в наличии оборудования мощностью более 11 кВт, приняв во внимание что мощность ЭП это и есть мощность ЭД. Таким образом для расчета будут приняты следующие ЭП: 1-4,7,11-17,19-20,33,35.

Для расчёта колебаний напряжения воспользуемся формулой (41):

$$\delta U\% = \frac{Z_c}{Z_c + Z_{дв}} \cdot 100\% \quad (41)$$

где  $Z_c$  – полное сопротивление, Ом,

$Z_{дв}$  – полное сопротивление двигателя, Ом.

$$Z_{дв} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot \kappa_n}, \text{ Ом} \quad (42)$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение сети, В,

$I_p$  – расчетный ток ЭП, А (табл.5),

$\kappa_n$  – кратность пускового тока (табл. 5).

$$Z_c = Z_{mp} + Z_{грц-щс} + Z_{щс-эн} \quad (43)$$

где  $Z_{mp}$  – сопротивление трансформатора Ом,

$Z_{грц-щс}$  – полное сопротивление участка ГРЦ-ЩС, Ом,

$Z_{щс-эн}$  – полное сопротивление участка ЩС-ЭП, Ом.

$$Z_{щс-эн} = z_{0_{щс-эн}} \cdot l = l_{щс-эн} \cdot \sqrt{r_{0_{щс-эн}}^2 + x_{0_{щс-эн}}^2} \quad (44)$$

$$Z_{грц-щс} = z_{0_{грц-щс}} \cdot l = l_{грц-щс} \cdot \sqrt{r_{0_{грц-щс}}^2 + x_{0_{грц-щс}}^2} \quad (45)$$

$$Z_{mp} = \frac{U_{к.з.}}{S_H} \cdot \frac{U_H^2}{100} \quad (46)$$

где  $U_{к.з.}$  – напряжение короткого замыкания трансформатора,

$S_H$  – полная мощность трансформатора МВА,

$U_H$  – напряжение вторичной обмотки трансформатора, кВ.

$$Z_{mp} = \frac{5,5}{0,63} \cdot \frac{0,4^2}{100} = 0,0139 \text{ Ом}$$

В качестве примера выполним расчет колебания напряжения для ЭП1.

Сопротивление участка ЭП1-ЩС1:

$$Z_{щс-эн} = 36 \cdot \sqrt{1,16^2 + 0,0675^2} = 41,83 \text{ мОм} = 0,04183 \text{ Ом}$$

Сопротивление участка ГРЦ-ЩС1:

$$Z_{грц-щс} = 74 \cdot \sqrt{0,195^2 + 0,0602^2} = 15,1 \text{ мОм} = 0,0151 \text{ Ом}$$

Сопротивление трансформатора определено по справочным данным и составляет  $Z_{mp} = 129 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$ .

Сопrotивление двигателя составляет:

$$Z_{дв} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 45 \cdot 4,2} = 1,22 \text{ Ом}$$

Полное сопротивление, необходимое для расчета колебания напряжения составит:

$$Z_c = 0,0139 + 0,04183 + 0,0151 = 0,07 \text{ Ом}$$

Величина колебания напряжения для ЭП1, с учетом рассчитанных выше данных составит:

$$\delta U\% = \frac{0,07}{0,07 + 1,22} \cdot 100\% = 5,42\%$$

Все полученные в процессе расчетов данные заносим в таблицу 9.

Таблица 9 – Данные по расчёту колебания напряжения ЭП

Поз. ЭП	Расч. ток $I_p$ А	Коэф. пуска $K_p$	Сопротивление участка ГРЦ-ЩС		Сопротивление участка ЩС-ЭП		Длина ЩС ГРЦ $l_m$	Длина ЩС ЭП $l_m$	Колеб U $\delta U$ %
			$r_{0пр} \frac{МОм}{м}$	$x_{0пр} \frac{МОм}{м}$	$r_{0кл} \frac{МОм}{м}$	$x_{0кл} \frac{МОм}{м}$			
ЭП1	45	4,2	0,195	0,0602	1,16	0,0675	36	74	5,48
ЭП2	48	7,0	0,195	0,0602	0,74	0,0662	52	74	8,96
ЭП3	48	7,0	0,195	0,0602	0,74	0,0662	59	74	9,58
ЭП4	20,9	6,0	0,195	0,0602	1,16	0,0675	45	74	4,23
ЭП7	50	7,5	0,195	0,0602	0,74	0,0662	35	80	8,37
ЭП11	45	6,5	0,154	0,0602	0,74	0,0662	46	39	6,46
ЭП12	65,9	4,5	0,154	0,0602	0,74	0,0662	27	39	4,93
ЭП13	65	4,5	0,154	0,0602	0,53	0,0637	42	39	5,14

Продолжение таблицы 9

Поз. ЭП	Расч. ток $I_p$ А	Коэф. пуска $K_p$	Сопротивление участка ГРЩ-ЩС		Сопротивление участка ЩС-ЭП		Длина ЩС ГРЩ $l_m$	Длина ЩС ЭП $l_m$	Колеб U $\delta U$ %
			$r_{0np} \frac{MOm}{M}$	$x_{0np} \frac{MOm}{M}$	$r_{0кл} \frac{MOm}{M}$	$x_{0кл} \frac{MOm}{M}$			
ЭП14	200	3,1	0,154	0,0602	0,154	0,0602	49	39	7,10
ЭП15	96,3	5,3	0,195	0,0602	0,53	0,0637	27	41	7,50
ЭП16	34	5,5	0,195	0,0602	1,16	0,0675	27	41	4,16
ЭП17	29,5	5,5	0,195	0,0602	1,84	0,073	15	41	3,39
ЭП19	28	6,5	0,265	0,0612	1,84	0,073	28	75	6,34
ЭП20	97	6,5	0,265	0,0612	0,53	0,0637	97	75	19,03
ЭП33	95	95	0,53	0,0637	0,53	0,0637	70	70	11,89
ЭП35	76,1	76,1	0,53	0,0637	0,53	0,0637	77	39	8,46

Выводы по разделу.

Для успешного запуска электродвигателя, величина колебания напряжения не должна превышать 20%. По расчётным данным видно, что таких установок у нас не имеется, следовательно выбор кабельных связей осуществлен верно. Стоит отметить, что устройства плавного пуска или системы управления значительно снижают колебания напряжения, что хорошо видно по расчётным данным, записанным в таблице. Снижение колебаний напряжения мощных ЭП увеличивает качество электроснабжения всего предприятия и положительно сказывается на режимах работы соседних электроустановок.

## 12 Расчет величины токов короткого замыкания

Определения величины тока трехфазного короткого замыкания производят на шинах трансформаторной подстанции. Для этого воспользуемся формулой:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot Z_{mp}} \quad (47)$$

где  $U_{cp}$  – среднее значение междуфазного напряжения, принимаемое для расчетов токов КЗ, в нашем случае это напряжение будет являться базисным. Среднее значение напряжения в сетях 10 кВ, для расчетов принимают равным 10500В – 10,5кВ,  $Z_{mp}$  – сопротивление трансформатора, определяемое по формуле (43), с учетом напряжения питания.

$$I_{K3BH}^{(3)} = \frac{10500}{\sqrt{3} \cdot 8,7} = 694,4 \text{ A}$$

Если необходимо рассчитать величину КЗ на стороне НН, воспользуемся формулой (48), по которой ток КЗ при базисном напряжении, приводится к необходимому напряжению ступени.

$$I_{K3HH}^{(3)} = I_{K3BH}^{(3)} \cdot \frac{U_{cpBH}}{U_{cpHH}}, \quad (48)$$
$$I_{K3HH}^{(3)} = 694,4 \cdot \frac{10500}{400} = 18228 \text{ A}.$$

Для выбора защитной аппаратуры для каждого ЭП и для ЩС необходимо выполнить расчёт наименьших токов КЗ. Исходя из расчётов и практики в сетях напряжением до 1000 В, наименьшие токи КЗ возникают при однофазном коротком замыкании в наиболее удаленной точке сети. Токи однофазного короткого замыкания определяется по формуле (49).

$$I_{K3}^{(1)} = \frac{U_{\phi.cp}}{Z_{n(\phi-0)} + \frac{Z'_{mp}}{3}} \quad (49)$$

где  $U_{\phi.cp}$  – среднее фазное напряжение принимаемое на 5% больше номинального,  $U_{\phi.cp} = 241,5$  В,

$Z'_{mp}$  – сопротивление трансформатора при однофазном коротком замыкании. Указано в технических характеристиках трансформатора и для выбранного трансформатора составляет  $Z'_T = 205$  мОм.

$Z_{n(\phi-0)}$  – полное сопротивление петли фаза-ноль участка.

$$Z_{n(\phi-0)} = Z_{грщ-щс(\phi-0)} * L_{грщ-щс} + Z_{щс-эп(\phi-0)} * L_{щс-эп} \quad (50)$$

где  $Z_{грщ-щс(\phi-0)}$  – сопротивление петли фаза-ноль участка ГРЩ-ЩС,

$Z_{щс-эп(\phi-0)}$  – сопротивление петли фаза-ноль участка ЩС-ЭП,

$L_{грщ-щс}$  – длина участка ГРЩ-ЩС в метрах,

$L_{щс-эп}$  – длина участка ЩС-ЭП в метрах.

Стоит отметить, что расчёт величины токов КЗ довольно сложная процедура и в реальности, при проектировании, пользуются не только различными методическими пособиями, но и специальными программами, которые позволяют точно и с учётом всех нюансов выполнить расчёт.

Несмотря на то, что расчет токов однофазных КЗ будет проводиться для каждого из ЭП индивидуально, сама методика расчета одинакова. Поэтому в качестве примера выполним расчет тока короткого замыкания для ЭП1.

Определим полное сопротивление фаза-ноль для ЭП1:

$$Z_{n(\phi-0)} = \frac{0,195 * 2 * 74 + 1,16 * 2 * 36}{1000} = 0,11238,$$

$$I_k^{(1)} = \frac{241,5}{0,11238 + \frac{0,205}{3}} = 1336,37 \text{ A.}$$

Расчётные данные для остальных ЭП и ЩС запишем в таблицу 10.

Таблица 10 – Результаты расчетов тока однофазного короткого замыкания

Участок	Длина участка, м		Сопrotивление петли (фаза-ноль), Ом		Z полное (фаза-ноль) Ом	Ток однофазного КЗ, А
	$L_{зрщ-щс}$	$L_{щс-эп}$	$Z_{зрщ-щс(\phi-0)}$	$Z_{щс-эп(\phi-0)}$		
ЩС1	74	-	0,03	-	0,03	2484,74
ЩС2	80	-	0,03	-	0,03	2426,32
ЩС3	39	-	0,01	-	0,01	3005,78
ЩС4	39	-	0,01	-	0,01	3005,78
ЩС5	41	-	0,02	-	0,02	2863,98
ЩС6	75	-	0,04	-	0,04	2234,39
ЩС7	49	-	0,07	-	0,07	1714,55
ЩС8	39	-	0,09	-	0,09	1520,65
ЩС9	39	-	0,06	-	0,06	1915,86
ЩС10	56	-	0,13	-	0,13	1218,14
ЩС11	39	-	0,36	-	0,36	562,32
ЩС12	70	-	0,07	-	0,07	1694,34
ЩС13	39	-	0,04	-	0,04	2201,99
ЩС14	39	-	0,36	-	0,36	562,32
ЩО	39	-	0,14	-	0,14	1139,94
ЩОА	49	-	0,45	-	0,45	462,58
ЭП1	74	36	0,03	0,08	0,11	1336,37
ЭП2	74	52	0,03	0,08	0,11	1386,71
ЭП3	74	59	0,03	0,09	0,12	1308,85
ЭП4	74	45	0,03	0,10	0,13	1197,96
ЭП5	74	15	0,03	0,09	0,12	1271,77
ЭП6	80	39	0,03	0,09	0,12	1270,96
ЭП7	80	35	0,03	0,05	0,08	1595,81

Продолжение таблицы 10

Участок	Длина участка, м		Сопrotивление петли (фаза-ноль), Ом		Z полное (фаза-ноль) Ом	Ток однофазного КЗ, А
	$L_{зрц-цс}$	$L_{цс-эн}$	$Z_{зрц-цс(\phi-0)}$	$Z_{цс-эн(\phi-0)}$		
ЭП8	80	33	0,03	0,12	0,15	1092,89
ЭП9	80	12	0,03	0,11	0,14	1146,43
ЭП10	80	10	0,03	0,04	0,07	1771,39
ЭП11	39	46	0,01	0,07	0,08	1627,08
ЭП12	39	27	0,01	0,04	0,05	2007,39
ЭП13	39	42	0,01	0,04	0,06	1934,08
ЭП14	39	49	0,01	0,02	0,03	2530,46
ЭП15	41	27	0,02	0,03	0,04	2138,24
ЭП16	41	27	0,02	0,06	0,08	1643,27
ЭП17	41	15	0,02	0,06	0,07	1730,89
ЭП18	41	17	0,02	0,11	0,12	1275,19
ЭП19	75	18	0,04	0,07	0,11	1385,36
ЭП20	75	15	0,04	0,02	0,06	1947,84
ЭП21	49	17	0,07	0,11	0,18	982,05
ЭП22	49	20	0,07	0,12	0,20	913,20
ЭП23	49	23	0,07	0,21	0,29	682,52
ЭП24	49	27	0,07	0,17	0,24	784,82
ЭП25	49	32	0,07	0,30	0,37	552,41
ЭП26	49	38	0,07	0,35	0,42	490,12
ЭП27	49	48	0,07	0,44	0,52	412,59
ЭП28	39	14	0,09	0,21	0,30	659,81
ЭП29	39	7	0,09	0,04	0,13	1195,11
ЭП30	39	50	0,06	0,46	0,52	409,98
ЭП31	56	13,5	0,13	0,13	0,25	747,07
ЭП32	39	42	0,36	0,62	0,98	229,77
ЭП33	70	70	0,04	0,07	0,11	1344,41
ЭП34	39	47,5	0,04	0,07	0,11	1341,87
ЭП35	39	77	0,04	0,08	0,12	1262,46
ЭП36	39	75	0,36	1,11	1,47	156,87
ЭП37	39	42	0,36	0,62	0,98	229,77



Продолжение таблицы 10

Участок	Длина участка, м		Сопrotивление петли (фаза-ноль), Ом		Z полное (фаза-ноль) Ом	Ток однофазного КЗ, А
	$L_{грц-цс}$	$L_{цс-эп}$	$Z_{грц-цс(\phi-0)}$	$Z_{цс-эп(\phi-0)}$		
ЭП38	39	31	0,14	0,46	0,60	360,10
ЭП39	39	54	0,14	0,80	0,94	238,86
ЭП40	49	31	0,45	0,46	0,91	246,21
ЭП41	49	54	0,45	0,80	1,25	182,78

Выводы по разделу.

В данном разделе выполнены расчёты по определению максимальных токов КЗ, по имеющимся данным. Расчёты из таблицы 10 будут использованы в других пунктах работы.

## 13 Выбор и проверка защитной аппаратуры до 1000В

### 13.1 Описание методики расчёта

Для защиты электроприемников от коротких замыканий и токов повышенной величины используется различная защитная аппаратура. Например предохранители. Их устройство таково, что при протекании тока номиналом выше, чем рассчитанный ток предохранителя, плавкая вставка входящая в состав плавится и разрывает цепь. Очевиден недостаток такого устройства – его одноразовое действие и необходимость в замене после срабатывания. Со временем на смену предохранителям при питании мощных устройств пришли автоматические выключатели. Автоматический выключатель – это устройство многократного действия, которое разрывает цепь при прохождении тока повышенной величины. Автоматический выключатель имеет в своем составе электромагнитный и тепловой расцепитель, что так же отличает его от предохранителя и позволяет повысить быстродействие и селективность при организации защиты участка цепи. Для защиты электроприемников входящих в состав нашего предприятия так же будут использованы автоматические выключатели.

Выбор выключателя производится по следующим параметрам:

по номинальному напряжению:

$$U_{н.а} \geq U_{н.с} \quad (51)$$

где  $U_{н.с}$  – номинальное напряжение сети.  $U_{н.с} = 380$  В.

по номинальному току теплового расцепителя:

$$I_{н.т.} \geq k_n \cdot I_p \quad (52)$$

где  $k_n = 1,1 \dots 1,3$  – коэффициент надежности учитывающий разброс времени срабатывания теплового расцепителя,

$I_p$  – максимальный рабочий ток, А.

по току срабатывания электромагнитного расцепителя:

$$I_{э.р.} \geq k_{зан} \cdot I_{max} \quad (53)$$

где  $k_{зан} = 1,25$  – коэффициент запаса,

$I_{max}$  – максимальный ток с учетом пуска электродвигателей, А.

Рабочий ток участка ГРЩ-ЩС:

$$I_{раб.ЩС} = k_0 \sum_{i=1}^n I_{pi} \quad (54)$$

Максимальный ток одного ЭП – это его пусковой ток, а группы ЭД:

$$I_{max} = I_{пуск} + k_0 \sum_{i=1}^{n-1} I_{pi} \quad (55)$$

где  $I_{пуск}$  – наибольший пусковой ток одного ЭД,

$k_0$  – коэффициент одновременности работы потребителей. Обычно для проведения расчетов для промышленных предприятий выбирают значение равное  $k_0 = 0,9$ ,

$\sum_{i=1}^{n-1} I_{pi}$  – сумма рабочих токов группы потребителей, без учета потребителя, пусковой ток которого максимален среди данной группы, А.

### 13.2 Выбор защитной аппаратуры

Для примера выполним расчет автоматического выключателя для одного потребителя и для одного силового щита. Для потребителя ЭП1, расчёт будет следующим:

$$I_{расч1} = 45 \text{ А,}$$

$$I_{\text{макс}} = 190,95 \text{ A},$$

$$I_{\text{н.т.расч}} = 1,1 \cdot 45 = 49,5 \text{ A},$$

$$I_{\text{э.р.расч}} = 1,25 \cdot 190,95 = 238,69 \text{ A}.$$

Для защиты данного ЭП применим автоматический выключатель производителя CHINT Global модели NM8S-125S-63/3. Данные выключатели, как и многие подобные им, позволяют выставлять отсечку по току в диапазоне от 5 до 12 величин номинального тока. Тепловой расцепитель срабатывает при превышении тока от 5 до 30% от номинального в течении часа.

Проверим автоматический выключатель по номинальному току теплового расцепителя:

$$I_{\text{н.т.расч}} = 1,1 \cdot 45 = 49,5 \text{ A}$$

$$50 \geq 49,5 \text{ условие выполняется}$$

Кратность пускового тока для ЭП1 составляет 4,2. Минимальная величина отсечки, которую позволяет выставить автомат равна 5. Таким образом значение тока.

$$I_{\text{э.р.}} > I_{\text{э.р.расч}}$$

$$I_{\text{э.р.}} = 50 \cdot 5 = 250 \text{ A}.$$

$$315 > 238,69 \text{ условие выполнено}$$

Таким образом, данный выключатель по всем параметрам подходит.

Аналогично проведем выбор для других ЭП. Так как методика выбора остается прежней, то приводить пошаговый расчёт на все группы не будем, а все полученные данные расчётов занесем в таблицу 11.

Выберем автоматический выключатель для ЩС1:

Для ЩС1:

$$I_{\text{р.щс}} = 178 \text{ A},$$

$$I_{\text{н.т.расч}} = 1,3 \cdot 178 = 231 \text{ A}.$$

По формуле (55) находим  $I_{max}$  для РП1:

$$I_{max} = 336 + 0,9 \cdot (45 + 48 + 20,9 \cdot 2 + 9) = 465,42 \text{ A},$$

$$I_{\text{э.р.расч}} = 1,25 \cdot 465,42 = 581,76 \text{ A}.$$

Выбираем автоматический выключатель серии NM8S-180S-180/3.

$$234 > 231 \text{ A},$$

$$I_{\text{э.р.}} = 5 \cdot 250 = 1250 \text{ A},$$

$$1250 > 581,775 \text{ A}.$$

Условия выбора выполняются.

Таблица 11 – Данные по выбранным выключателям нагрузки

Поз.	Токи		Расчетные токи расцепителей		Тип выкл.	Ном. ток выкл.	Токи расцепителей		Крат. тока	Пред. ком. способ
	Расч.	Макс.	Тепл.	Эл.маг.			Тепл.	Эл.маг.		
	$I_p$	$I_{max}$	$I_{н.т.рас}$	$I_{\text{э.р.расч}}$			$I_{н.т.}$	$I_{\text{э.р}}$		
	А	А	А	А			А	А		
ЩС1	178	465,42	231	581,76	NM8S-250	180	234	900	5	50
ЩС2	140	582,94	182	728,68	NM8S-160	160	208	800	5	50
ЩС3	160	411,81	208	581,76	NM8S-180	180	234	900	5	50
ЩС4	200	624,3	260	780,37	NM8S-225	225	292,5	1125	5	70
ЩС5	158	584,05	205,4	730,06	NM8S-160	160	208	800	5	50
ЩС6	113	705,2	146,9	881,5	NM8S-125	125	162,5	1000	8	50
ЩС7	68	178,55	88,4	223,19	NM8S-80	80	104	400	5	50
ЩС8	24	22,52	31,2	28,15	NM8S-25	25	32,5	125	5	50
ЩС9	48	62,4	62,4	78	NM8S-50	50	65	250	5	50
ЩС10	28	36,4	36,4	45,5	NM8S-32	32	41,6	160	5	50
ЩС11	4	11,85	5,2	14,81	NM8S-16	16	16	80	5	50
ЩС12	95	123,5	123,5	154,34	NM8S-100	100	130	500	5	50
ЩС13	75	304,03	97,5	380	NM8S-80	80	104	400	5	50
ЩС14	9	11,805	11,7	14,625	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЩО	9	9	11,25	11,25	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЩОА	1,2	1,25	1,5	1,5	NM8S-16	16	20,8	80	5	50

Продолжение таблицы 11

Поз.	Токи		Расчетные токи расцепителей		Тип выкл.	Ном. ток выкл.	Токи расцепителей		Крат. тока	Пред. ком. способ
	Расч.	Макс.	Тепл.	Эл.маг.			Тепл.	Эл.маг.		
	$I_p$	$I_{max}$	$I_{н.т.рас}$	$I_{э.р.расч}$			$I_{н.т.}$	$I_{э.р.}$		
	А	А	А	А			А	А		
ЭП1	45	190,95	49,5	238,69	NM8S-50	50	65	250	5	50
ЭП2	48	336	52,8	420,00	NM8S-50	50	65	450	9	50
ЭП3	48	336	52,8	420,00	NM8S-50	50	65	450	9	50
ЭП4	20,9	125,7	22,99	157,13	NM8S-25	25	25	175	7	50
ЭП5	9	54	9,9	67,50	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЭП6	22,7	147	24,97	183,75	NM8S-25	25	32,5	200	8	50
ЭП7	50	375	55	468,75	NM8S-63	63	81,9	504	8	50
ЭП8	30,3	212	33,33	265,00	NM8S-32	32	41,6	288	9	50
ЭП9	18,2	127,7	20,02	159,63	NM8S-25	20	26	160	8	50
ЭП10	30,3	212	33,33	265,00	NM8S-32	32	41,6	288	9	50
ЭП11	45	294	49,5	367,50	NM8S-50	50	65	400	8	50
ЭП12	65,9	293,5	72,49	366,88	NM8S-80	80	104	400	5	50
ЭП13	65	292,1	71,5	365,13	NM8S-80	80	104	400	5	50
ЭП14	200	624,3	220	780,38	NM8S-225	225	292,5	1125	5	50
ЭП15	96,3	515,2	105,9	644,00	NM8S-100	100	130	700	7	50
ЭП16	34	187	37,4	233,75	NM8S-40	40	52	240	6	50
ЭП17	29,5	162,3	32,45	202,88	NM8S-32	32	41,6	224	7	50
ЭП18	13	67,1	14,3	83,88	NM8S-16	16	20,8	96	6	50
ЭП19	28	182	30,8	227,50	NM8S-32	32	41,6	256	8	50
ЭП20	97	630	106,7	787,50	NM8S-100	100	130	800	8	50
ЭП21	19,2	125	21,12	156,25	NM8S-20	20	26	160	8	50
ЭП22	19,2	125	21,12	156,25	NM8S-20	20	26	160	8	50
ЭП23	8	56	8,8	70,00	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЭП24	17	110	18,7	137,50	NM8S-20	20	26	140	7	50
ЭП25	6,5	42	7,15	52,50	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЭП26	4,4	28,5	4,84	35,63	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЭП27	4,4	28,5	4,84	35,63	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЭП28	1,7	11,9	1,87	14,88	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЭП29	11,8	11,8	12,98	14,75	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЭП30	8,6	8,6	9,46	10,75	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЭП31	8,6	8,6	9,46	10,75	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЭП32	1,5	10,6	1,65	13,25	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЭП33	95	250	104,5	312,50	NM8S-100	100	130	500	5	50
ЭП34	26,7	100	29,37	125,00	NM8S-32	32	41,6	160	5	50

Продолжение таблицы 11

Поз.	Токи		Расчетные токи расцепителей		Тип выкл.	Ном. ток выкл.	Токи расцепителей		Крат. тока	Пред. ком. способ
	Расч.	Макс.	Тепл.	Эл.маг.			Тепл.	Эл.маг.		
	$I_p$	$I_{max}$	$I_{н.т.рас}$	$I_{э.р.расч}$			$I_{н.т.}$	$I_{э.р.}$		
	А	А	А	А			А	А		
ЭП35	76,1	280	83,71	350,00	NM8S-80	80	104	400	5	50
ЭП36	0,65	4,2	0,715	5,25	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЭП37	0,65	4,2	0,715	5,25	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЭП38	0,027	0,027	0,0297	0,03	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЭП39	0,027	0,027	0,0297	0,03	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЭП40	0,013	0,013	0,0143	0,02	NM8S-16	16	20,8	80	5	50
ЭП41	0,013	0,013	0,0143	0,02	NM8S-16	16	20,8	80	5	50

Выводы по разделу.

В данном разделе по результатам расчётов был выбран производитель и модель автоматических выключателей, используемых для организации электроснабжения предприятия.

### 13.3 Согласование и проверка защитной аппаратуры

Так как автоматический выключатель по своему назначению должен обеспечивать защиту наиболее слабого участка цепи, требуется выполнить согласование и проверку на то, что не кабель является таким участком. Кабель должен выдерживать протекание длительного тока, достаточного для срабатывания тепловой защиты выключателя. Дополнительно определяется чувствительность к току однофазного короткого замыкания. Данная проверка проводится в самой удаленной точке участка цепи. Проверка защитной аппаратуры по первому условию проводится по формуле (56):

$$I_{доп} > I_{н.т.} \quad (56)$$

Проверка автомата на чувствительность к току однофазного короткого замыкания выполняется по условию:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к}}^{(1)}}{I_{\text{н.т.}}} \quad (57)$$

Для надежного срабатывания автоматического выключателя  $K_{\text{ч}} \geq 3$ .

Выполним согласование и проверку автоматических выключателей для ЩС1. Для остальных электроприемников и силовых щитов проверка выполняется аналогично. Результаты проверки занесем в таблицу 11

Например, для ЩС1:  $I_{\text{н.т.}} = 234\text{А}$ , сечение кабеля –  $F = 95 \text{ мм}^2$ ,  $I_{\text{доп}} = 242 \text{ А}$ .

$$243 \text{ А} > 242 \text{ А}$$

Определим чувствительность к току однофазного короткого замыкания в удаленной точке (ЭП1) для ЩС1. В формулу значение тока теплового расцепителя выбираем с учетом понижающего коэффициента 0,8:

$$K_{\text{ч}} = \frac{2484,74}{234} = 10,6 > 3$$

Условие выполняется.

После проведения расчетов и проанализировав данные станет понятно, что максимально допустимый ток кабеля используемый для подключения ЭП14, ЭП15, ЭП20, ЭП33 меньше, чем указанный ток теплового расцепителя автоматического выключателя. В таком случае требуется или увеличить сечение кабеля или выбрать другой автоматический выключатель. Автоматический выключатель выбирается по различным параметрам и очевидно, мы не можем выбрать другой. Прокладывать кабель другого сечения можно, однако изучив выбранный автоматический выключатель можно установить коэффициент в зоне тепловой перегрузки на значение 0,8. Таким образом срабатывание автоматического выключателя произойдет при токе равном для ЭП14  $292,5 * 0,8 = 234 \text{ А}$ . Расчётный ток теплового расцепителя составляет 220А. Кабель выдерживает длительный ток в 280А. Таким образом



установка понижающего коэффициента позволяет без замены выключателя и кабеля выполнить надежную защиту оборудования и обеспечить пожарную безопасность. Таким образом данный автоматический выключатель обеспечит защиту и не допустит перегрева кабеля. Следует помнить, что на этапе проектирования, а после в процессе наладки следует пользоваться данной функцией автоматических выключателей. Это позволяет повысить чувствительность защиты и выполнить отключение в случае, когда протекающий ток явно превосходит нормальный рабочий ток оборудования, но еще не достиг, точки срабатывания автоматической защиты, несмотря на то что угрозы перегрева кабеля и возникновения пожара нет. Конечно, такая вероятность очень мала и обычно автоматический выключатель срабатывает по току КЗ. Однако, имея возможность более точно настроить срабатывание защиты, будет правильным решением это сделать и в случае возникновения нештатной ситуации это позволит не только отключить оборудование, но и сэкономить средства на оплату электроэнергии. Автоматический выключатель данного производителя позволяет уменьшать ток срабатывания в зоне перегрузки а диапазоне от 0,8 до 1. Определить коэффициент, можно разделив рассчитанный ток теплового расцепителя на ток теплового расцепителя автоматического выключателя. Округлив в большую сторону при установке на автоматическом выключателе.

Изучив характеристики всех используемых в работе автоматических выключателей, ясно что все выключатели проходят проверку на ток трехфазного короткого замыкания так как их предельная коммутационная способность больше тока трехфазного короткого. Минимальная предельная коммутационная способность выключателей, используемых в работе, составляет 50000 А.

$$\text{Выключатель NM8S-250: } I_{\text{пр.откл}} \geq I_{\text{к.з.}}^3 \cdot 50000 \text{ A} > 18228 \text{ A}$$

Как видно из расчетов вся электропроводка и автоматические выключатели согласованы между собой. Полученные в результате расчетов данные заносим в таблицу 12.

Таблица 12 – Результаты согласования автоматов и проводов ЭП

Позиция	Ток теплового расцепителя $I_{н.т}$	Ток однофазного КЗ $I_{кз}$	Коэффициент чувствительности $K_{ч}$	Сечение F	Допустимый ток $I_{доп}$
	А	А		мм <sup>2</sup>	А
ЩС1	234	2484,74	10,6	95	242
ЩС2	208	2426,32	11,7	95	242
ЩС3	234	3005,78	12,8	120	280
ЩС4	292,5	3005,78	10,3	120	280
ЩС5	208	2863,98	13,8	95	242
ЩС6	162,5	2234,39	13,8	70	195
ЩС7	104	1714,55	16,5	25	104
ЩС8	32,5	1520,65	46,8	16	78
ЩС9	65	1915,86	29,5	25	104
ЩС10	41,6	1218,14	29,3	16	78
ЩС11	16	562,32	35,1	4	33
ЩС12	130	1694,34	13,0	35	127
ЩС13	104	2201,99	21,2	35	127
ЩС14	20,8	562,32	27,0	4	33
ЩО	20,8	1139,94	54,8	10	58
ЩОА	20,8	462,58	22,2	4	33
ЭП1	65	1336,37	20,6	16	78
ЭП2	65	1386,71	21,3	25	104
ЭП3	65	1308,85	20,1	25	104
ЭП4	25	1197,96	47,9	16	78
ЭП5	20,8	1271,77	61,1	6	42
ЭП6	32,5	1270,96	39,1	16	78
ЭП7	81,9	1595,81	19,5	25	104
ЭП8	41,6	1092,89	26,3	10	58
ЭП9	26	1146,43	44,1	4	33
ЭП10	41,6	1771,39	42,6	10	58
ЭП11	65	1627,08	25,0	25	104
ЭП12	104	2007,39	19,3	25	104
ЭП13	104	1934,08	18,6	35	127
ЭП14	234	2530,46	8,7	120	280
ЭП15	104	2138,24	16,4	35	127
ЭП16	52	1643,27	31,6	16	78
ЭП17	41,6	1730,89	41,6	10	58
ЭП18	20,8	1275,19	61,3	6	42

Продолжение таблицы 12

Позиция	Ток теплового расцепителя $I_{н.т}$	Ток однофазного КЗ $I_{кз}$	Коэффициент чувствительности $K_{ч}$	Сечение F  мм <sup>2</sup>	Допустимый ток $I_{доп}$  А
	А	А		мм <sup>2</sup>	А
ЭП19	41,6	1385,36	33,3	10	58
ЭП20	104	1947,84	15,0	35	127
ЭП21	26	982,05	37,8	6	42
ЭП22	26	913,20	35,1	6	42
ЭП23	20,8	682,52	32,8	4	33
ЭП24	26	784,82	30,2	6	42
ЭП25	20,8	552,41	26,6	4	33
ЭП26	20,8	490,12	23,6	4	33
ЭП27	20,8	412,59	19,8	4	33
ЭП28	20,8	659,81	31,7	2,5	25
ЭП29	20,8	1195,11	57,5	6	42
ЭП30	20,8	409,98	19,7	4	33
ЭП31	20,8	747,07	35,9	4	33
ЭП32	20,8	229,77	11,0	2,5	25
ЭП33	104	1344,41	10,3	35	127
ЭП34	41,6	1341,87	32,3	25	104
ЭП35	104	1262,46	12,1	35	127
ЭП36	20,8	156,87	7,5	2,5	25
ЭП37	20,8	229,77	11,0	2,5	25
ЭП38	20,8	360,10	17,3	2,5	25
ЭП39	20,8	238,86	11,5	2,5	25
ЭП40	20,8	246,21	11,8	2,5	25
ЭП41	20,8	182,78	8,8	2,5	25

Выводы по разделу.

Выбранная защитная аппаратура удовлетворяет всем основным критериям по организации защиты от токов КЗ и токов повышенной величины. Она обеспечивает необходимую чувствительность и селективность, а также позволяет надежно защитить используемое оборудование, не допуская перегрева кабеля.

## 14 Расчет контура заземления предприятия

Так как работа оборудования на предприятии со временем приводит к износу всех частей и узлов данного оборудования, возникает опасность повреждения и последующего пробоя изоляции токоведущих частей оборудования. Пробой изоляции оборудования не всегда может вызвать срабатывание устройств защиты, однако это может привести к попаданию потенциала на не токоведущие части оборудования, к которым может прикоснуться человек. С учетом больших мощностей и напряжения питания 0,4 кВ, прикосновение к такому оборудованию может стать для человека фатальным. С целью защиты от поражения электрическим током, когда на нетоковедущих частях оборудования оказался потенциал, является защитное заземление. Согласно «Правил устройства электроустановок» сопротивление заземляющего устройства (совокупность заземлителя и заземляющих проводников) должно быть:

- в установках до 1000 В с изолированной нейтралью – 4 Ом. При номинальных мощностях трансформаторов 100 кВА и менее – не более 10 Ом;
- в установках до 1000 В с глухозаземленной нейтралью выполняется рабочее заземление – 2, 4 и 8 Ом соответственно, при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В. При удельном сопротивлении грунта  $\rho$  более 10 Ом\*м указанные значения сопротивлений увеличивают в отношении  $\rho / 100$ , но не более десятикратного. Данные согласно пункта 9.5 [5].

Существуют и используется два вида заземления: контурное и выносное. Исходя из названия очевидно, что выносное заземление располагают вне зоны, на которой расположено заземляемое оборудование. Контурное заземление, наоборот, характеризуется тем, что располагается по периметру (контуру) зоны, на которой расположено оборудование. И в первом, и во втором случае заземление представляет собой металлические вертикальные электроды, расположенные в земле и соединенные между собой стальными полосами определенного сечения [1].

В данной работе для расчета заземления предприятия будем использовать контурное заземление. Предприятие расположено в первой климатической зоне, с повышенной влажностью. Тип грунта – суглинок. Глубину заложения заземляющих стержней примем равным  $H = 0,5$  м от поверхности земли. В качестве заземлителей будем использовать стальные трубы длиной  $l_c = 3$  м и диаметром  $d = 50$  мм. Соединять заземлители будем при помощи сварки и стальной полосы  $80 \times 5$  мм. Дополнительные параметры для расчета. Контур заземления будет располагаться по периметру здания, на расстоянии 2,5 метра от стены здания. Таким образом периметр для расчёта контура заземления будет равен  $l_n = 203$  метра.

Выполним расчет удельного сопротивления грунта с учетом сезонных колебаний влажности по формуле (58):

$$\begin{aligned} \rho_{с.н.} &= \Psi_B \cdot \rho_0 \\ \rho_{с.н.} &= 1,9 \cdot 100 = 190 \text{ Ом} \cdot \text{м}, \end{aligned} \quad (58)$$

Выполним расчёт сопротивления растеканию тока по формуле (59):

$$R_c = \left( \frac{\rho_{с.н.}}{2 \cdot \pi \cdot l_c} \right) \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l_c}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \frac{(4 \cdot t + l_c)}{(4 \cdot t - l_c)} \text{ Ом} \quad (59)$$

где  $t = H + l_c/2$ .

$$\begin{aligned} t &= 0,5 + \frac{3}{2} = 2 \text{ м}, \\ R_c &= \left( \frac{190}{2 \cdot \pi \cdot 3} \right) \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{(4 \cdot 2 + 3)}{(4 \cdot 2 - 3)} = 48,6513. \end{aligned}$$

По формуле (60) определим предварительное количество заземлителей приняв расстояние между ними равное  $\alpha = 2 \cdot l_c = 6$  :

$$\eta_{np} = \frac{l_n}{\alpha} = \frac{203}{6} = 33,8 \approx 34, \quad (60)$$

Определим расстояние между электродами при известной длине соединительной стальной полосы и предварительному количеству электродов.

Определим отношение расстояния между электродами к их длине.

$$\frac{\alpha}{l_c} = \frac{6}{3} = 2$$

Определим удельное сопротивление грунта для горизонтальной полосы:

$$\rho_{c.n.} = 7,2 \cdot 100 = 720 \text{ Ом}$$

Определим сопротивление растеканию тока горизонтальной полосы по формуле (61):

$$R_n = \left( \frac{\rho_{c.n.}}{2 \cdot \pi \cdot l_n} \right) \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l_n^2}{0,5 \cdot b \cdot t_0} \right) \text{ Ом}, \quad (61)$$
$$R_n = \left( \frac{720}{2 \cdot \pi \cdot 203} \right) \cdot \left( \ln \frac{(2 \cdot 203^2)}{(0,5 \cdot 0,0005 \cdot 0,5)} \right) = 11,463 \text{ Ом}.$$

По таблице 7.12 [4] определяем значение коэффициентов  $\eta_c$  и  $\eta_n$ .

$$\eta_c = 0,6$$
$$\eta_n = 0,42$$

Определим результирующее сопротивление заземляющего устройства по формуле (62):

$$R_{3.y.} = \frac{(R_n \cdot R_c)}{(R_c \cdot \eta_n) + (R_n \cdot \eta_{np} \cdot \eta_c)}, \quad (62)$$

$$R_{3,y} = \frac{(48,6513 \cdot 8,98)}{(48,6513 \cdot 0,56) + (8,98 \cdot 0,76 \cdot 34)} = 2,1932 \text{ Ом.}$$

Условие  $R_{3,y} < R_3$  следовательно расчёт контура выполнен верно.

Выводы по разделу.

Расчёт контура заземления может выполняться различными способами, выбранный мною способ не является самым экономичным с точки зрения использования ресурсов, однако в данном случае безопасность является приоритетным критерием. Как видно из расчёта сопротивление контура находится в допустимых пределах. Теоретически можно уменьшить количество вертикальных заземлителей и сопротивление всего контура так же останется в допустимых пределах, однако я не стал этого делать, предпочитая иметь немного больший запас по сопротивлению, тем самым обеспечивая более эффективную защиту в случае непредвиденных ситуаций.

## Заключение

Обеспечение качественного электроснабжения предприятия является необходимым условием для его функционирования. Плохое качество электроснабжения может привести к поломке дорогостоящего оборудования, а неправильно выбранная аппаратура защиты провести к пожару и гибели людей.

На основании выполненных расчетов выбраны силовые трансформаторы, компенсирующие установки и другое оборудование. В работе проведен расчет токов короткого замыкания, сделан выбор защитной аппаратуры и выполнена ее проверка. Также был рассчитан и спроектирован контур заземления предприятия. При использовании выбранного оборудования обеспечивается надежное и безопасное электроснабжение предприятия.

Таким образом, цель работы по организации надежного и бесперебойного электроснабжения завода по механической обработке изделий достигнута. При этом следует отметить, что расчёт в данной работе хоть и является верным, но при этом был немного упрощен в силу того, что реальные расчёты при проектировании включают в себя множество коэффициентов и нюансов, которые необходимо учитывать. Упрощение никак не повлияет на безопасность при работе на предприятии, которая даже с учетом упрощения будет соответствовать всем нормам и требованиям.

Полученные при выполнении работы навыки, будут полезным для дальнейшей трудовой деятельности, так как позволяют грамотно производить выбор оборудования для электроснабжения. Можно добавить, что, находясь на предприятии, я имел возможность сравнить оборудование, которое было выбрано в данной работе. Оно практически в точности соответствует реальному, за исключением системы освещения, у меня она включает больше светильников, и в использовании силового трансформатора следующего класса по мощности, вместо того, который установлен на предприятии в КТП.



## Список используемой литературы

1. Герасименко А.А., Чупак, Т.М. Электроэнергетические системы и сети. Расчеты параметров и режимов работы электрических сетей [Текст]: Учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 1 / Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. – 222 с.
2. Карякин Р.Н. Нормы устройств сетей заземления. Справочник. – М.: Энергосервис, 2002.
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий [Текст]: Учебник для студентов высших учебных заведений/ – 2-е изд. – М.: Интернет Инжиниринг, 2006. – 672 с.
4. Правила устройства электроустановок. (7 издание) - М.: Энергия, 2005. - 645с.
5. Синенко Л.С., Рубан Т.П., Сизганова Е.Ю., Попов Ю.П. Электроснабжение [Текст]: Учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию: В 2 ч. Ч. 1 / Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. 135 с.
6. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г.М. Кнорринга. - Л.: Энергия, 2007. – 386с., ил.
7. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М: Энергоатомиздат, 1991 г. – 464 с.
8. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / под ред. С.С. Рокотяна. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 348с.
9. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2 т. Под ред. А.А. Федорова. - М.: Энергоатомиздат, 2003.
10. Шабад М.А. Релейная защита трансформаторов. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1989 — 144 с.: ил. — (Библиотека электромонтера. Выпуск 623).
11. Электрик Инфо" - онлайн журнал про электричество: [сайт]. – URL: <http://elektrik.info/main/lighting/1309-krivye-raspredeleniya-sily-sveta->

[svetilnikov.html](#) (дата обращения 15.01.2022). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

12. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200085803> (дата обращения 12.01.2022). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

13. Электрические кабели, провода и шнуры [Текст]: Справочник/ Под редакцией Н.И. Белорусова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 536 с.

14. Электроснабжение промышленных предприятий и установок/Под ред. Липкина Б.Ю. - М.: Высш. Школа, 1981. - 376с.

15. Электрическая часть станций и подстанций / Под. ред. Б.Н. Неклепаева. - М.: Энергия, 1972. - 336с.

16. IEC/TR 60909-4 Ed. 2.0 en:2021, Second Edition: Short-circuit currents in three-phase AC systems - Part 4: Examples for the calculation of short-circuit currents: International Electrotechnical Commission – Published: Multiple. Distributed through American National Standards Institute (ANSI) (June 24, 2021), 83 pages.

17. Illustrated Guide to the National Electrical Code (MindTap Course List) – Publisher: Cengage Learning, 2020 – 117 pages

18. Lighting Engineering: Applied Calculations: Simons Bsc Ceng Fcibse, R N ; Bean Ceng Miec Fcibse Cphys Minstp Phd, Robert – Published: Architectural Press, 2001, 544 pages.

19. Ohm's Law, Electrical Math and Voltage Drop Calculations – Publisher: Tom Henrys Code Electrical, 1992 – 216 pages

20. Transformer Exam Calculations / Revised edition – Publisher: Tom Henrys Code Electrical, 1989.